



TUGAS AKHIR – ME141501

SISTEM PENDINGIN *HYBRID THERMOELECTRIC COOLER* DAN *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* PADA *COOL BOX*

Yudha Agus Rahman Prasetyo
NRP 4213 100 023

Dosen Pembimbing :
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
Juniarko Prananda, ST., MT.

Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR – ME141501

SISTEM PENDINGIN *HYBRID THERMOELECTRIC COOLER* DAN *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* PADA *COOL BOX*

Yudha Agus Rahman Prasetyo
NRP 4213 100 023

Dosen Pembimbing :
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
Juniarko Prananda, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT – ME141501

THERMOELECTRIC COOLER AND PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) HYBRID COOLING SYSTEM FOR COOL BOX

Yudha Agus Rahman Prasetyo
NRP 4213 100 023

Supervisor :
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
Juniarko Prananda, ST., MT.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

SISTEM PENDINGIN *HYBRID THERMOELECTRIC COOLER* DAN *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* PADA *COOL BOX*

SKRIPSI

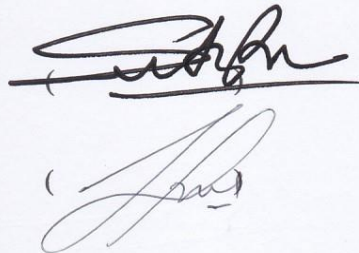
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System (MMS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Yudha Agus Rahman Prasetyo
NRP. 4213 100 023

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

1. Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 19751006 2002 12 1003
2. Juniarko Prananda, ST., MT.
NIP. 19900605 2015 04 1001



SURABAYA
JULI 2017

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Lembar Pengesahan

SISTEM PENDINGIN *HYBRID THERMOELECTRIC COOLER* DAN *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* PADA *COOL BOX*

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System (MMS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Yudha Agus Rahman Prasetyo
NRP. 4213 100 023

Disetujui oleh :
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.
NIP. 19770802 2008 01 1007

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Surat Pernyataan

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :
Pada laporan skripsi ini yang saya susun ini tidak terdapat tindakan plagiarisme, dan menyatakan dengan sukarela bahwa semua data, konsep, rancangan, bahan tulisan, dan materi yang ada di laporan tersebut adalah milik Laboratorium Marine Machinery and System (MMS) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS yang merupakan hasil studi penelitian dan berhak dipergunakan untuk pelaksanaan kegiatan – kegiatan penelitian lanjut dan pengembangannya.

Nama : Yudha Agus Rahman Prasetyo

NRP : 4213 100 023

Judul Skripsi : Sistem Pendingin *Hybrid Thermoelectric Cooler* dan *Phase Change Material* (PCM) pada *Cool Box*

Departemen : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat tindakan plagiarisme, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diberikan oleh ITS sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

(Yudha Agus Rahman Prasetyo)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

SISTEM PENDINGIN *HYBRID THERMOELECTRIC COOLER* DAN *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* PADA *COOL BOX*

Nama Mahasiswa : Yudha Agus Rahman Prasetyo
NRP : 4213 100 023
Dosen Pembimbing 1 : Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng, Ph.D
Dosen Pembimbing 2 : Juniarko Prananda, ST., MT.

ABSTRAK

Hasil laut negara Indonesia dalam sektor perikanan menjadi salah satu faktor yang sangat penting mengingat hasil laut sangat melimpah. Hasil produksi ini belum sebanding dengan jumlah media penyimpanan yang ada di Indonesia. Peningkatan kualitas ikan menjadi salah satu cara untuk meningkatkan faktor produksi ini. Oleh karena itu penanganan dan pengolahan seperti proses pendinginan ikan haruslah tepat. Kesalahan dalam proses ini dapat menurunkan kualitas ikan yang menyebabkan turunya nilai jual ikan. Jenis media penyimpanan yang digunakan di Indonesia masih menggunakan *cold storage* yang memanfaatkan mesin refrigerasi dengan refrigerant berupa *Freon* dan es basah (es batu). Selain masalah refrigerant yang tidak ramah lingkungan, *cold storage* juga memiliki satu masalah lagi yakni kebutuhan daya yang cukup besar untuk menurunkan temperatur ruang muat. Salah satu material penyimpan energi adalah *Phase Change Material (PCM)* untuk penyimpanan energi termal. *Phase Change Material (PCM)* mampu menyerap dan melepaskan sejumlah besar kalor laten sesuai dengan peningkatan dan penurunan suhu lingkungan. Sekaligus penggunaan termoelektrik dalam sistem pendinginan yang dapat menggantikan mesin refrigerasi. Pada penelitian ini akan dirancang dan dianalisa penggunaan hybrid termoelektrik dan *Phase Change Material (PCM)* pada *cool box*. Percobaan yang dilakukan dengan memvariasi jumlah termoelektrik dan jumlah *Phase Change Material (PCM)*. Dari hasil percobaan didapatkan kinerja tertinggi termoelektrik pada percobaan 4 termoelektrik dan 2 L *Phase Change Material (PCM)* sebesar 0,79. Rata – rata temperatur udara ruangan *cool box* terendah yaitu 6,86 °C. Pada variasi percobaan 2 modul termoelektrik dan PCM 2 L dengan durasi pengambilan data selama 2 jam. Secara ekonomi kebutuhan biaya untuk listrik terbagi menjadi dua jenis yaitu untuk proses *freezing Phase Change Material (PCM)* selama 3 jam dan pada *cool box*. Dari hasil perhitungan didapatkan proses *freezing Phase Change Material (PCM)* untuk 1 hari sebanyak 2 kali proses *freezing* dalam setahun membutuhkan biaya sebesar Rp 1.017.669,6. Sementara biaya untuk pengoperasian *cool box* selama 2 jam untuk 1 hari sebanyak 2 kali membutuhkan biaya sebesar Rp 36.679,65. Total biaya listrik selama 1 tahun sebesar Rp 1.054.349,25.

Kata Kunci – *Cool box, hybrid, Phase Change Material (PCM), Termoelektrik, Biaya*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

THERMOELECTRIC COOLER AND PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) HYBRID COOLING SYSTEM FOR COOL BOX

Student Name : Yudha Agus Rahman Prasetyo
Reg. Number : 4213 100 023
Supervisor 1 : Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng, Ph.D
Supervisor 2 : Juniarko Prananda, ST., MT.

ABSTRACT

Indonesia's marine products in the fishery sector become one of the most important factors since the sea products are very abundant. The results of this production has not been comparable with the amount of storage media in Indonesia. Increasing the quality of fish is one way to increase this production factor. Therefore handling and processing such as the fish cooling process should be appropriate. Mistake in this process can degrade the quality of the fish causing the decline of the fish selling value. Types of storage media used in Indonesia are still using cold storage that utilizes refrigeration machine with refrigerant in the form of Freon and ice wet (ice cubes). In addition to the problem of refrigerant that is not environmentally friendly, cold storage also has one more problem that is the need for power large enough to lower the temperature of the loading space. One of the energy storage materials is Phase Change Material (PCM) for thermal energy storage. Phase Change Material (PCM) is able to absorb and release large amounts of latent heat in accordance with the increase and decrease in ambient temperature. At the same time the use of thermoelectric in a cooling system that can replace the refrigeration machine. In this research will be designed and analyzed the use of thermoelectric hybrid and Phase Change Material (PCM) on cool box. Experiments were performed by varying the amount of thermoelectric and number of Phase Change Materials (PCM). The experiment results obtained the highest thermoelectric performance in thermoelectric 4 experiments and 2 L Phase Change Materials (PCM) of 0,79. The average air temperature of the cool cool room is 6,86 °C. In experiment variation 2 thermoelectric module and PCM 2 L with a duration of data retrieval for 2 hours. Economically, cost of electricity is divided into two types: freezing Phase Change Material (PCM) for 3 hours and cool box. From the calculation results obtained freezing process Phase Change Material (PCM) for 1 day as much as 2 times the process of freezing in a year requires a cost Rp 1,017,669.6. While the cost for the operation of cool box for 2 hours for 1 day 2 times cost Rp 36.679,65. Total cost of electricity for 1 year amounting to Rp 1,054,349.25.

Keywords – Cool box, hybrid, Phase Change Material (PCM), Thermoelectric, Cost

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya penyusunan skripsi dengan judul “**Sistem Pendingin Hybrid Thermoelectric Cooler Dan Phase Change Material (Pcm) Pada Cool Box**” dapat terselesaikan dengan baik dan lancar oleh penulis.

Penulisan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana teknik. Skripsi ini bertujuan untuk merancang sistem pendingin *hybrid thermoelectric cooler* dan *phase change material* (PCM) pada *cool box* dalam skala model prototipe. Dengan mengetahui spesifikasi komponen dan peralatan yang dibutuhkan sehingga akan didapatkan biaya investasi dalam pembuatan sistem pendingin ini.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah mendukung dalam proses penyusunan tugas akhir ini baik dalam bentuk moril maupun materiil. Selain itu penulis juga mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Ayahanda Agus Seno dan Ibunda Elin Herminingsih dan adik Sabrian Dwi Rizky Pamungkas yang telah memberikan dukungan materiil, doa dan semangat motivasi demi kelancaran dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Dosen pembimbing Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng, Ph.D serta Bapak Juniarko Prananda, ST., MT. yang telah membimbing memberi saran dan arahan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc., selaku dosen wali dan kepala Laboratorium Marine Machinery and System (MMS) yang telah memberikan bimbingan, motivasi sejak mahasiswa baru hingga detik ini dan memberikan ijin untuk penggunaan fasilitas laboratorium dalam menunjang pengerjaan tugas akhir.
4. Teman-teman satu bimbingan baik bimbingan Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng, Ph.D serta Bapak Juniarko Prananda, ST., MT. yang telah membagi ilmu selama pengerjaan tugas akhir.
5. Muhammad Faisal Ridho dan Manggala Yudha Setio Wicaksosno yang membantu dalam pengerjaan tugas akhir.

Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya masih banyak kekurangan, penulis memohon maaf atas segala tulisan yang kurang berkenan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis. Adanya penulisan tugas akhir ini semoga dapat memberikan ilmu baru bagi pembaca terutama untuk penulis sendiri. Demikian semoga bermanfaat.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Daftar Isi

Lembar Pengesahan.....	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Surat Pernyataan.....	v
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi.....	xiii
Daftar Gambar.....	xvii
Daftar Tabel.....	xix
Daftar Simbol	xxi
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Tempat Penelitian.....	2
BAB II	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Perpindahan Panas.....	3
2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi	3
2.1.2 Perpindahan Panas Konveksi	3
2.1.3 Perpindahan Kalor Radiasi	4
2.1.4 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh.....	4
2.2 Termoelektrik	5
2.2.1 Efek Peltier	5
2.2.2 Prinsip Kerja Termoelektrik	6
2.2.3 Kinerja Thermoelectric Cooler.....	7
2.2.3.1 Seebeck Coefficient (S_m).....	7
2.2.3.2 Thermal Conductance (K_m)	7
2.2.3.3 Electrical Resistance (R_m)	7
2.2.3.4 Figure of Merit (Z)	7
2.2.3.5 Heat Rejection (Q_h).....	8
2.2.2.6 Heat Absorption (Q_c).....	8
2.2.2.7 Electrical Driven Power (Q_{te}).....	8
2.2.2.8 Coefficient of Performancy (COP).....	9
2.3 Phase Change Material (PCM).....	9
2.3.1 Organik.....	10
2.3.2 Inorganik	10
2.3.3 Eutactic	11
2.4 Penelitian Sebelumnya	11
2.4.1 Poetro, Eko Joessianto. 2010.....	11
2.4.2 Aziz, Azridjal, Joko Subroto, Villager Silpana. 2015.	11
2.4.3 Pudjiastuti, Wiwik. 2011.....	11

BAB III.....	13
METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Mengidentifikasi Masalah	14
3.2 Studi Literatur.....	14
3.3 Studi Empiris	14
3.4 Perhitungan Beban Panas	14
3.5 Pembuatan Aparatus	15
3.6 Pengujian dan Kalibrasi.....	15
3.7 Percobaan	16
3.7.1 Metode Percobaan	16
3.7.2 Konsep Percobaan	19
3.7.3 Prosedur Percobaan	20
3.7.3.1 Percobaan 2 Modul Termoelektrik 2 Tanpa PCM.....	20
3.7.3.2 Percobaan 4 Modul Termoelektrik 4 Tanpa PCM.....	20
3.7.3.3 Percobaan 2 Modul Termoelektrik 2 Dengan PCM 1 L.....	21
3.7.3.4 Percobaan 2 Modul Termoelektrik 2 Dengan PCM 2 L.....	21
3.7.3.5 Percobaan 4 Modul Termoelektrik 4 Dengan PCM 1 L.....	21
3.7.3.6 Percobaan 4 Modul Termoelektrik 4 Dengan PCM 2 L.....	22
3.8 Pengambilan Data.....	22
3.9 Analisa Data dan Pembahasan.....	22
3.10 Kesimpulan dan Saran	22
3.11 Prosedur Pengoperasian Cold Storage.....	23
3.11.1 Prosedur Menyalakan Cold Storage	23
3.11.2 Prosedur Mematikan Cold Storage.....	25
3.12 Prosedur Pengoperasian Data Logger LabJack T7-Pro	26
3.12.1 Setting Data Logger LabJack T7-Pro	26
BAB IV.....	29
ANALISA DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Perhitungan Beban Panas	29
4.2 Perhitungan Kinerja Termoelektrik	32
4.2.1 Spesifikasi Modul Termoelektrik	32
4.2.2 Perhitungan pada Percobaan Termoelektrik 2 Buah dengan PCM 2 Kg.....	32
4.2.2.1 Seebeck Coefficient (S_m)	32
4.2.2.2 Thermal Conductance (K_m)	32
4.2.2.3 Electrical Resistance (R_m).....	33
4.2.2.4 Figure of Merit (Z)	33
4.2.2.5 Heat Rejection (Q_h).....	33
4.2.2.6 Heat Absorption (Q_c)	33
4.2.2.7 Electrical Driven Power (Q_{te})	34
4.2.2.8 Coefficient of Performancy (COP).....	34
4.3 Analisa Desain Rancangan Aparatus.....	34
4.3.1 Model 1 Dengan Heatsink Pada Sisi Panas dan Sisi Dingin Termoelektrik.....	34
4.4.2 Model 2 Dengan Heatsink Pada Sisi Panas dan Fan Pada Sisi Dingin Termoelektrik	35
4.4.3 Model 3 Dengan Heat Pipe Pada Sisi Panas dan Fan Pada Sisi Dingin Termoelektrik	36

4.3.4 Model 4 Dengan Heat Pipe Pada Sisi Panas Termoelektrik.....	37
4.3.5 Model 5 Dengan Mensirkulasikan Udara Pada Ruangan Cool Box.....	38
4.4 Analisa Hasil Percobaan.....	39
4.4.1 Percobaan 2 Modul Termoelektrik Tanpa PCM.....	39
4.4.2 Percobaan 4 Modul Termoelektrik Tanpa PCM.....	40
4.4.3 Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 Liter	42
4.4.4 Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 Liter	43
4.4.5 Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 Liter	45
4.4.6 Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 Liter	46
4.5 Analisa Ekonomi	48
BAB V.....	53
KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN	57

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Perpindahan Panas Konveksi pada Plat.....	3
Gambar 2.2 Perpindahan Kalor Menyeluruh Melalui Dinding Datar	4
Gambar 2.3 Jaringan Tahanan Perpindahan Kalor Menyeluruh	4
Gambar 2.4 Susunan Termoelektik.....	5
Gambar 2.5 Efek Peltier	6
Gambar 2.6 Prinsip Kerja Thermoelectric Cooler.....	6
Gambar 2.7 Klasifikasi Phase Change Material.....	9
Gambar 3.1 Rancangan Aparatus Tanpa PCM.....	15
Gambar 3.2 Rancangan Aparatus Dengan Phase Change Material.....	15
Gambar 3.3 Metode Percobaan	16
Gambar 3.4 Panel MCB Utama.....	23
Gambar 3.5 Panel MCB Cold Storage	23
Gambar 3.6 Panel MCB Cold Storage	24
Gambar 3.7 Switch On - Off	24
Gambar 3.8 Kontrol Cold Storage.....	24
Gambar 3.9 Kontrol Cold Storage.....	25
Gambar 3.10 Switch On - Off	25
Gambar 3.11 Thermocouple pada LabJack	26
Gambar 3.12 Software Kipling	26
Gambar 3.13 Menu Analog Inputs	27
Gambar 3.14 Setting Thermocouple	27
Gambar 3.15 Software LjLogM	28
Gambar 4.1 Heatsink Sisi Panas Termoelektrik.....	34
Gambar 4.2 Heatsink Sisi Dingin Termoelektrik	34
Gambar 4.3 Heatsink Sisi Panas Termoelektrik.....	35
Gambar 4.4 Sisi Dingin Termoelektrik	35
Gambar 4.5 Heatpipe Sisi Panas Termoelektrik.....	36
Gambar 4.6 Sisi Dingin Termoelektrik	36
Gambar 4.7 Sisi Panas Termoelektrik.....	37
Gambar 4.8 Sisi Dingin Termoelektrik	37
Gambar 4.9 Sisi Dingin Termoelektrik	38
Gambar 4.10 Cool Box Model 5	38
Gambar 4.11 Grafik Percobaan 2 Termoelektrik Tanpa PCM.....	39
Gambar 4.12 Grafik Percobaan 2 Termoelektrik Tanpa PCM.....	40
Gambar 4.13 Grafik Percobaan 4 Termoelektrik Tanpa PCM.....	40
Gambar 4.14 Grafik Percobaan 4 Termoelektrik Tanpa PCM.....	41
Gambar 4.15 Grafik Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 L	42
Gambar 4.16 Grafik Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 L	43
Gambar 4.17 Grafik Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 L	43
Gambar 4.18 Grafik Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 L	44
Gambar 4.19 Grafik Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 L	45

Gambar 4.20 Grafik Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 L.....	46
Gambar 4.21 Grafik Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 L.....	46
Gambar 4.22 Grafik Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 L.....	47

Daftar Tabel

Tabel 3.1 Peralatan Percobaan	16
Tabel 3.2 Parameter Percobaan ke-1 dan ke-2	19
Tabel 3.3 Parameter Percobaan ke-3 dan ke-4	20
Tabel 3.4 Parameter Percobaan ke-5 dan ke-6	20
Tabel 4.1 Luas Permukaan dinding cool box	29
Tabel 4.2 Harga PCM.....	49
Tabel 4.3 Harga PCM dan Termoelektrik	49

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Daftar Simbol

Tu	Temperatur Udara Ruangan Cool Box	°C
Tp	Temperatur <i>Phase Change Material</i> (PCM)	°C
Tc	Temperatur Sisi Dingin Termoelektrik	°C
Th	Temperatur Sisi Panas Termoelektrik	°C
ΔT	Perbedaan Temperatur Sisi Panas dan Sisi Dingin ($T_h - T_c$)	K
Rm	<i>Electrical Resistance</i>	Ω
Sm	<i>Seebeck Coefficient</i>	V/K
Km	<i>Thermal Resistance</i>	K/W
Z	<i>Figure of Merit</i>	1/K
Qh	<i>Heat Transfer of Hot Side Thermoelectric</i>	W
Qc	<i>Heat Transfer of Cool Side Thermoelectric</i>	W
Qte	<i>Electrical Driven Power</i>	W
COP	<i>Coefficient of Performancy</i>	

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Letak geografis Indonesia sangat menunjang dalam pertumbuhan produksi perikanan. Baik pada sektor perikanan laut dan perairan umum, data dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2014 negara Indonesia menghasilkan 20.817 ton produksi perikanan menurut subsektor dan tiap tahunnya mengalami peningkatan. Dengan jumlah produksi perikanan yang semakin meningkat maka diperlukan wadah atau penampung sementara hasil tangkapan. Wadah tersebut berfungsi mempertahankan kesegaran dari hasil tangkapan sehingga hasil produksi perikanan tidak mengalami penurunan nilai ekonomis.

Pada saat ini kotak penyimpanan masih menggunakan cara yang konvensional menggunakan es batu (es basah) yang bertindak sebagai pengawet atau memperlambat pembusukan ikan. Alasan penggunaan es batu (es basah) dikarenakan harga yang relatif murah. Namun, es batu (es basah) mengalami proses perubahan wujud dari padat menjadi cair karena perubahan temperatur. Ketika es batu (es basah) yang digunakan tersebut mencair, maka dapat mempengaruhi kualitas ikan yang disimpan. Karena es batu (es basah) dalam menghambat pertumbuhan bakteri menurun. Terjadinya perbedaan suhu akhir dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jumlah es yang digunakan, teknik pendinginan ikan, ukuran ikan dan kondisi fisik ikan, lama pemberian es, ukuran dan jenis wadah yang digunakan.

Penggunaan termoelektrik didasarkan pada dua hal. Pertama, yaitu sistem pendingin kompresi memiliki kelemahan yaitu memerlukan energi yang besar untuk mengoperasikan kompresor dan penggunaan refrigeran. Kebutuhan energi yang cukup besar berdampak pada pengeluaran biaya operasi dari *cold storage*. Selain biaya operasi yang harus dikeluarkan juga diperlukan biaya perawatan peralatan dari sistem pendingin. Penggunaan CFC sebagai refrigeran pada *cold storage* mulai dikurangi karena menimbulkan efek buruk terhadap lingkungan yaitu menyebabkan penipisan lapisan ozon (Poetro, 2010). Kedua, es batu (es basah) yang berpengaruh terhadap kualitas ikan. Pada saat es berubah fase menjadi cair dapat mengakibatkan pembusukan pada ikan semakin cepat.

Pada tugas akhir ini akan dirancang *cool box* menggunakan *thermoelectric cooler* (TEC). Pada perancangan alat akan memilih komponen yang digunakan sebagai sistem pendingin komponen termoelektrik dan pemilihan jenis *Phase Change Material* (PCM) yang sesuai untuk produk makanan. Sehingga diharapkan dengan perancangan *cool box* menggunakan termoelektrik yang diintegrasikan dengan *Phase Change Material* (PCM) dapat mengurangi penggunaan es batu (es basah) dan sebagai alternatif sistem pendingin selain menggunakan sistem pendingin kompresi uap. *Phase Change Material* (PCM) berfungsi untuk mempertahankan temperatur yang berada di ruangan *cool box* dan menyerap kalor yang dihasilkan oleh termoelektrik.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang diambil pada penelitian tugas akhir ini adalah:

- 1.2.1 Bagaimana pengaruh *Thermoelectric Cooler* (TEC) terhadap proses pendinginan pada sistem pendingin *hybrid Thermoelectric Cooler* dan *Phase Change Material* dalam proses mendinginkan *cool box*?
- 1.2.2 Bagaimana nilai ekonomi untuk pembuatan sistem pendingin *hybrid Thermoelectric Cooler* dan *Phase Change Material* pada *cool box*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah:

- 1.3.1 Penelitian dilakukan hanya pada *cool box* dengan ukuran 30 x 20,5 x 25,5 cm.
- 1.3.2 *Thermoelectric* yang digunakan tipe TEC1-12706.
- 1.3.3 *Phase Change Material* yang digunakan tipe R-4.
- 1.3.4 Kalor yang dihasilkan motor listrik pada fan tidak diperhitungkan.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu melakukan studi eksperimental untuk:

- 1.4.1 Mengetahui kinerja sistem pendingin *hybrid Thermoelectric Cooler* dan *Phase Change Material* dalam proses mendinginkan *cool box*.
- 1.4.2 Melakukan analisa ekonomi untuk penerapan sistem pendingin *hybrid Thermoelectric Cooler* dan *Phase Change Material* pada *cool box*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

- 1.5.1 Mendapatkan volume ruang penyimpanan yang lebih besar pada *cool box* jika dibandingkan dengan menggunakan media pendingin es basah (es batu).
- 1.5.2 Mengetahui spesifikasi peralatan sistem pendingin dengan menggunakan termoelektrik dan *phase change material* (PCM).
- 1.5.3 Menjadi pertimbangan bagi industri pendinginan, sehingga diharapkan rancangan sistem pendingin menjadi energi alternatif.

1.6 Tempat Penelitian

Pengerjaan tugas akhir ini direncanakan di Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Energi yang berpindah dinamakan kalor atau panas. Pada sistem pendingin termoelektrik peristiwa perpindahan panas yang terjadi dengan cara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas konduksi terjadi pada heat sink sisi panas peltier dan pada heat sink sisi dingin peltier. Sementara perpindahan panas konveksi terjadi pada udara yang melewati heat sink, dan udara dalam ruangan atau alat uji (Poetro, 2010).

2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan kalor atau panas karena getaran dan tabrakan molekul dan elektron bebas. Molekul pada titik yang memiliki suhu tinggi bergetar lebih cepat dibandingkan dengan molekul pada titik suhu yang lebih rendah. Molekul-molekul dengan gerakan yang lebih tinggi bertabrakan dengan molekul yang memiliki energi rendah atau molekul yang berada pada temperatur yang lebih rendah. Proses perpindahan panas konduksi terjadi tanpa diikuti oleh perpindahan molekul benda tersebut.

Persamaan yang digunakan pada perpindahan panas konduksi disebut dengan Hukum Fourier, sehingga:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

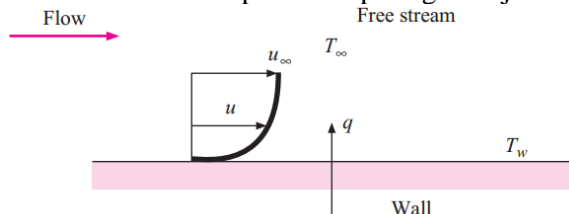
dimana q merupakan laju perpindahan kalor dan $\Delta T / \Delta x$ merupakan gradien suhu ke arah perpindahan kalor. Konstanta positif k disebut konduktivitas thermal benda atau material, nilai minus diselipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu (Holman, 1997).

2.1.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan kalor atau panas yang terjadi ketika molekul dari benda atau material ikut berpindah tempat. Dalam memperhitungkan perpindahan panas konveksi maka digunakan hukum Newton tentang pendinginan:

$$q = hA (T_w - T_\infty) \quad (2)$$

Laju perpindahan kalor dihubungkan dengan beda suhu menyeluruh antara dinding dan fluida, dan luas permukaan A . Besaran h disebut koefisien perpindahan kalor konveksi. Dengan satuan h adalah watt per meter persegi derajat Celcius.



Gambar 2.1 Perpindahan Panas Konveksi pada Plat
(Holman, 1997)

Jika suatu plat panas dibiarkan di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar, maka udara itu akan bergerak sebagai akibat terjadinya gradien densitas di dekat plat tersebut. Peristiwa ini dinamakan konveksi alamiah atau konveksi bebas untuk membedakannya dari konveksi paksa yang terjadi apabila udara itu dihembuskan diatas plat itu dengan kipas (Holman, 1997).

2.1.3 Perpindahan Kalor Radiasi

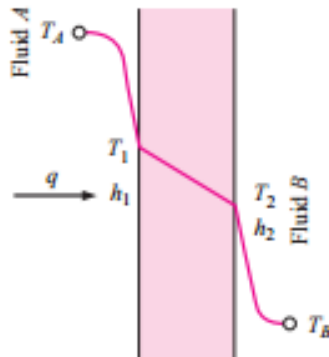
Perpindahan panas radiasi terjadi melalui daerah – daerah ruang hampa. Dengan menggunakan pancaran atau radiasi elektromagnetik. Benda hitam memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan. Dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$q = \sigma A T^4 \quad (3)$$

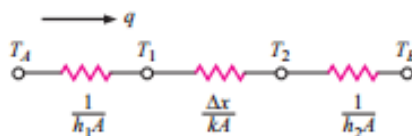
σ adalah konstanta proporsionalitas dan disebut konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$. Persamaan diatas disebut hukum Stefan-Boltzmann tentang radiasi termal dan berlaku hanya untuk benda hitam (Holman, 1997).

2.1.4 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Pada suatu dinding datar yang memisahkan dua fluida. Dimana pada satu sisinya terdapat fluida panas A, dan pada sisi lainnya fluida B yang lebih dingin. Proses perpindahan kalor dapat digambarkan dengan jaringan tahanan seperti pada gambar dibawah.



Gambar 2.2 Perpindahan Kalor Menyeluruh Melalui Dinding Datar (Holman, 1997)



Gambar 2.3 Jaringan Tahanan Perpindahan Kalor Menyeluruh (Holman, 1997)

Perpindahan kalor menyeluruh dihitung dengan jalan membagi beda suhu menyeluruh dengan jumlah tahanan termal sebagai berikut:

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{k A} + \frac{1}{h_2 A}} \quad (4)$$

Aliran kalor menyeluruh sebagai hasil gabungan proses konduksi dan konveksi dapat dinyatakan dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh U yang dirumuskan sebagai berikut:

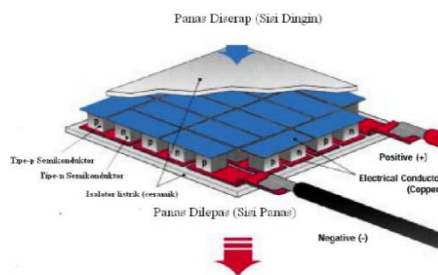
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (5)$$

Sesuai dengan persamaan diatas, laju perpindahan kalor menyeluruh dapat dinyatakan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$q = U A \Delta T_{\text{menyeluruh}} \quad (6)$$

2.2 Termoelektrik

Modul termoelektrik merupakan sirkuit terintegrasi dalam bentuk solid yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek Seebeck, Peltier dan Thompson. Konstruksi termoelektrik terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk termokopel. Modul ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas dan dingin di masing-masing sisinya jika arus listrik digunakan biasanya diaplikasikan sebagai sistem pendingin. Hal ini didasarkan pada efek Peltier (Nandy, 2009).

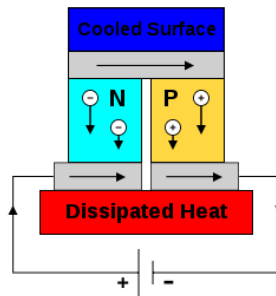


Gambar 2.4 Susunan Termoelektik
(Poetro, 2010)

2.2.1 Efek Peltier

Efek peltier kebalikan dari efek Seebeck, yaitu jika dua buah logam material yang berbeda kemudian dialirkan arus listrik searah pada sambungan tersebut, maka akan menghasilkan perbedaan temperatur pada kedua sisi termoelektrik. Prinsip inilah yang digunakan termoelektrik sebagai pendingin atau pompa kalor. Perbedaan temperatur yang dihasilkan sebanding dengan jumlah arus searah yang dialirkan.

Termoelektrik terdiri dari dua bahan material berbeda yang disambungkan. Material yang dipilih memiliki koefisien seebeck cukup tinggi. Saat ini kebanyakan termoelektrik menggunakan Bismuth – Telluride sebagai bahan pembuatnya. Jika dibandingkan dengan teknologi refrigerasi kompresi uap, termoelektrik memiliki berbagai macam kelebihan antara lain: pemanas atau pendingin dapat dengan mudah diatur dengan menyesuaikan arah arusnya, sangat ringkas, tidak ada getaran, tidak butuh perawatan khusus, dan tidak butuh refrigeran (Freon).

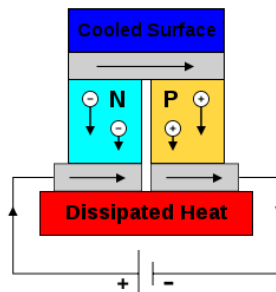


Gambar 2.5 Efek Peltier
(Poetro, 2010)

2.2.2 Prinsip Kerja Termoelektrik

Thermoelectric Cooler (TEC) terdiri dari semikonduktor tipe P dan N yang masing-masing terhubung seri secara elektrik, namun terhubung paralel secara termis. Prinsip kerja pendingin termoelektrik berdasarkan efek Peltier, yaitu ketika arus listrik DC melewati material semikonduktor dengan tipe yang berbeda, semikonduktor tipe N (negatif) dan tipe P (positif) maka akan menimbulkan panas (panas dilepas) pada satu sisi dan dingin (panas diserap) pada sisi lainnya (Poetro, 2010).

Penyebab sisi dingin elemen Peltier adalah adanya aliran elektron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe-P, ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu semikonduktor tipe-N. Supaya elektron tipe P yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dapat mengalir maka elektron menyerap energi yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin.



Gambar 2.6 Prinsip Kerja Thermoelectric Cooler
(Poetro, 2010)

Pada sambungan sisi panas, elektron mengalir dari tingkat energi yang lebih tinggi (semikonduktor tipe-N) ke tingkat energi yang lebih rendah (semikonduktor tipe-P). Dengan tingginya tingkat energi yang dimiliki semikonduktor tipe-N, maka kelebihan energi pada semikonduktor tipe-N dilepas ke lingkungan, sehingga sisi termoelektrik tersebut menjadi panas.

Pada gambar diatas menunjukkan elektron mengalir dari semikonduktor tipe-P yang memiliki tingkat energi rendah, sehingga menyerap panas pada sisi dingin kemudian mengalir ke semikonduktor tipe-N yang memiliki tingkat energi tinggi.

Kelebihan energi pada semikonduktor tipe-N dilepas ke lingkungan dan mengalir kembali ke semikonduktor tipe-P dan seperti itu seterusnya (Poetro, 2010).

2.2.3 Kinerja Thermoelectric Cooler

2.2.3.1 Seebeck Coefficient (S_m)

Seebeck Coefficient (S_m) merupakan nilai yang sangat berpengaruh terhadap karakteristik bahan modul yang digunakan Untuk mendapatkan nilai koefisien seebeck dapat menggunakan persamaan berikut :

$$S_m = \frac{V_{max}}{(T_h + 273)}$$

Keterangan :

S_m : *Seebeck Coefficient* (V/K)

V_{max} : Tegangan Maksimum Termoelektrik (V)

T_h : Temperatur Sisi – sisi Panas Termoelektrik ($^{\circ}\text{C}$)

2.2.3.2 Thermal Conductance (K_m)

Thermal Conductance (K_m) sangat bergantung pada bertambahnya kecepatan rata – rata partikel dalam perpindahan energi. Semakin cepat partikel dalam perpindahan energi maka semakin bertambah nilai konduktansi panas. Nilai konduktansi panas didapatkan dengan persamaan berikut :

$$K_m = \frac{(T_h - \Delta T_{max}) \times V_{max} \times I_{max}}{2 \times T_h \times \Delta T_{max}}$$

Keterangan:

K_m : *Thermal Conductance* (W/K)

V_{max} : Tegangan Maksimum Termoelektrik (V)

I_{max} : Arus Maksimum Termoelektrik (Ampere)

T_h : Temperatur Sisi -sisi Panas Termoelektrik ($^{\circ}\text{C}$)

ΔT_{max} : Perbedaan Temperatur Sisi – sisi Panas dan Dingin Termoelektrik (K)

2.2.3.3 Electrical Resistance (R_m)

Electrical Resistance (R_m) merupakan nilai hambatan listrik pada modul termoelektrik. Nilai tahanan elektrik didapatkan dengan persamaan berikut :

$$R_m = \frac{(T_h - \Delta T_{max}) \times V_{max}}{T_h \times I_{max}}$$

Keterangan:

R_m : *Electrical Resistance* (Ohm)

V_{max} : Tegangan Maksimum Termoelektrik (V)

I_{max} : Arus Maksimum Termoelektrik (Ampere)

T_h : Temperatur Sisi -sisi Panas Termoelektrik ($^{\circ}\text{C}$)

ΔT_{max} : Perbedaan Temperatur Sisi – sisi Panas dan Dingin Termoelektrik (K)

2.2.3.4 Figure of Merit (Z)

Figure of Merit (Z) merupakan nilai yang sangat berpengaruh terhadap termoelektrik. Semakin besar nilai Z maka performansi dari modul termoelektrik akan semakin baik.

Nilai Z bergantung dari bahan semikonduktor pada termoelektrik. Nilai *figure of merit* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$Z = \frac{S_m^2}{R_m \times K_m}$$

Keterangan:

- Z : *Figure of Merit* (1/K)
 S_m : *Seebeck Coefficient* (V/K)
 R_m : *Electrical Resistance* (Ohm)
 K_m : *Thermal Conductance* (W/K)

2.2.3.5 Heat Rejection (Q_h)

Heat Rejection (Q_h) merupakan laju perpindahan panas yang dilepas pada sisi panas termoelektrik. Nilai *heat rejection* dipengaruhi oleh efek koduksi dan efek joulean. Nilai *heat rejection* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$Q_h = S_m \times I \times T_h + 0,5 \times R_m \times I^2 - K_m \times \Delta T$$

Keterangan:

- Q_h : *Heat Rejection* (W)
 S_m : *Seebeck Coefficient* (V/K)
 I : Arus Termoelektrik (Ampere)
 T_h : Temperatur Sisi -sisi Panas Termoelektrik ($^{\circ}\text{C}$)
 R_m : *Electrical Resistance* (Ohm)
 K_m : *Thermal Conductance* (W/K)
 ΔT_{max} : Perbedaan Temperatur Sisi – sisi Panas dan Dingin Termoelektrik (K)

2.2.2.6 Heat Absorption (Q_c)

Heat Absorption (Q_c) merupakan laju perpindahan panas yang diserap pada sisi dingin termoelektrik. (Suwit,2011) Kalor tersebut yang nantinya akan dilepas pada sisi panas modul termoelektrik. Nilai *heat absorption* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$Q_c = S_m \times I \times T_c - 0,5 \times R_m \times I^2 - K_m \times \Delta T$$

Keterangan:

- Q_c : *Heat Absorption* (W)
 S_m : *Seebeck Coefficient* (V/K)
 I : Arus Termoelektrik (Ampere)
 T_c : Temperatur Sisi -sisi Dingin Termoelektrik ($^{\circ}\text{C}$)
 R_m : *Electrical Resistance* (Ohm)
 K_m : *Thermal Conducance* (W/K)
 ΔT_{max} : Perbedaan Temperatur Sisi – sisi Panas dan Dingin Termoelektrik (K)

2.2.2.7 Electrical Driven Power (Q_{te})

Electrical Driven Power (Q_{te}) merupakan nilai kerja listrik yang diperoleh dari perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin. Nilai *electrical driven power* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$Q_{te} = S_m \times I \times \Delta T + 0,5 \times R_m \times I^2$$

Keterangan:

- Q_{te} : *Electrical Driven Power* (W)

- S_m : *Seebeck Coefficient* (V/K)
 I : Arus Termoelektrik (Ampere)
 ΔT : Perbedaan Temperatur Sisi -sisi Panas dan Dingin Termoelektrik (K)
 T_c : Temperatur Sisi -sisi Dingin Termoelektrik ($^{\circ}\text{C}$)
 R_m : *Electrical Resistance* (Ohm)

2.2.2.8 Coefficient of Performancy (COP)

Nilai COP merupakan nilai performansi dari modul termoelektrik dalam kerjanya. Dengan nilai COP semakin tinggi maka kualitas bahan semikonduktor termoelektrik semakin bagus. Nilai COP didapatkan dengan persamaan berikut :

$$\text{COP} = Q_c / Q_{te}$$

Keterangan:

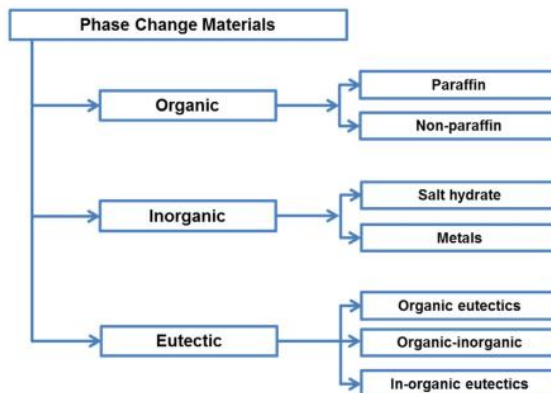
- COP : *Coefficient of Performancy*
 Q_c : *Heat Absorption* (W)
 Q_{te} : *Electrical Driven Power* (W)

2.3 Phase Change Material (PCM)

Phase change material merupakan salah satu jenis *thermal energy storage* yang mampu mempertahankan temperatur dalam kurun waktu tertentu. PCM mampu menyimpan panas yang diserap dan melepas panas pada temperatur yang tetap. Panas yang diserap oleh PCMs ini disebut sebagai panas laten karena panas yang terserap digunakan untuk merubah fase material. Energi panas dimanfaatkan untuk perubahan fase PCM dari fase padat menjadi cair. Dalam proses merubah fase PCM dari cair menjadi padat diperlukan penurunan temperatur sehingga PCM akan melepaskan panas dan PCM dapat berubah menjadi fase padat.

Perkembangan penggunaan PCM pada saat ini sangat diperlukan sebagai penghematan dalam penggunaan energi. Dengan kelebihan dari PCM yaitu dapat mempertahankan temperatur tanpa adanya bantuan pendinginan akan berdampak terhadap penurunan konsumsi energi listrik pada pendingin. PCM dapat melepaskan panas lebih 4 – 5 kali setiap satuan volume (Wiwik, 2011).

Secara umum PCM dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu organik, inorganik dan eutactic. Klasifikasi PCM terdapat pada gambar berikut.



Gambar 2.7 Klasifikasi Phase Change Material (Shamseldin, 2017)

2.3.1 Organik

PCM organik memiliki rentang suhu rendah dan terbagi atas *paraffin* dan *non paraffin compound*. PCM organik dapat mengalami proses mencair dan membeku berulang kali tanpa fase segregasi dan degradasi akibat panas laten. PCM organik bersifat non korosif. PCM organik mempunyai rentang suhu rendah dan mempunyai rata – rata panas laten per satuan volume serta densitas rendah (Wiwik, 2011).

a. Parafin

Parafin merupakan ikatan hidrokarbon yang tersusun atas $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$. Dalam hal ini ikatan hidrokarbon jenuh bersifat non polar. Titik leleh dari parafin akan bergantung pada panjang rantai dari ikatan CH_3 . Parafin merupakan senyawa organik yang tidak berbahaya sehingga cocok pada kategori *food grade level*.

b. Non Parafin

Material PCM organik non parafin sering disebut juga dengan *fatty acids* merupakan PCM dengan jumlah variasi paling banyak. Berbeda dengan material parafin, pada material non parafin setiap material memiliki sifat-sifat tersendiri. Pada jenis ini sering dibedakan menjadi kelompok asam lemak dan organik non parafin lain. Material organik non parafin memiliki sifat sebagai berikut.

1. Kalor jenis laten yang tinggi
2. Titik nyala kecil
3. Termal konduktivitas yang rendah
4. Tidak mudah terbakar
5. Tidak terlalu berbahaya

2.3.2 Inorganik

PCM inorganik dibedakan menjadi dua jenis yaitu garam hidrat (*salt hydrates*) dan logam (*metallics*). PCM inorganik tidak terlalu dingin dan peleburan panas tidak akan berkurang selama berlangsungnya siklus (Wiwik, 2011).

a. Salt Hydrates

Salt hydrates terbentuk dari campuran garam anorganik dengan air yang membentuk padatan kristal tertentu. Sifat dari *salt hydrates* sebagai PCM yaitu:

1. Memiliki panas peleburan laten per satuan volume tinggi
2. Termal konduktivitas relatif tinggi
3. Pada saat berubah fase meleleh, perubahan volume kecil
4. Tidak terlalu korosif, tidak bereaksi dengan plastik, dan hanya beberapa jenis yang beracun

b. Metallic

Logam dengan titik leleh rendah dan logam campuran termasuk dalam *metallics*. Penggunaan material *metallics* masih jarang digunakan karena jumlah / berat bahan yang diperlukan. Namun memiliki panas peleburan laten per satuan volume yang tinggi. Serta termal konduktivitas yang tinggi pada jenis material *metallics*.

2.3.3 Eutactic

Eutactic merupakan kombinasi sebuah komposisi dengan lelehan terendah dari dua komponen atau lebih, masing – masing meleleh dan membeku membentuk campuran dari komponen – komponen kristal selama proses kristalisasi. PCM jenis ini hampir selalu meleleh dan membeku tanpa pemisahan karena mereka membeku menjadi sebuah campuran kristal, memberikan sedikit kesempatan komponen – komponennya untuk memisahkan diri. Pada saat meleleh kedua komponen mencair secara berurutan dengan pemisahan yang tidak diinginkan (Wiwik, 2011).

2.4 Penelitian Sebelumnya

2.4.1 Poetro, Eko Joessianto. 2010. *Konservasi Energi pada BTS (Base Transceiver Station) menggunakan Sistem Pendingin Arus Searah (dc cooler)*. Seminar. Universitas Indonesia.

Pada penelitian ini, dilakukan studi literatur tentang sistem pendingin BTS dan teknologi termoelektrik Kemudian merancang dan menghitung COP (Coefficient of Performance) suatu prototipe sistem pendingin udara termoelektrik (dc-cooler) dengan menggunakan heatsink sirip berslot. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik dan COP dc-cooler ini dan dibandingkan dengan dc-cooler yang menggunakan heatsink sirip tanpa slot. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diperoleh sistem pendingin termoelektrik yang lebih efisien, sehingga dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan peran pendingin udara AC.

2.4.2 Aziz, Azridjal, Joko Subroto, Villager Silpana. 2015. *Aplikasi Modul Pendingin Termoelektrik Sebagai Media Pendingin Kotak Minuman.*

Kotak minuman dengan media pendingin termo elektrik (Thermo Electric Cooling/TEC) digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui temperatur pendinginan yang dapat dicapai untuk jumlah modul TEC yang berbeda (2 atau 3 modul TEC) dengan pengoperasian fan atau tanpa pengoperasian fan. Pengaruh pemakaian blok aluminium terhadap temperatur pendinginan juga diamati dalam penelitian ini. Pada penelitian ini digunakan kotak pendingin berkapasitas 34 L. Penggunaan 3 modul TEC dengan Fan dan blok aluminium memberikan pendinginan yang lebih baik setelah digunakan selama 150 menit, dengan temperatur kotak minuman mencapai 14,3 °C tanpa beban pendingin dan 16,4 °C dengan beban pendingin 1 liter air.

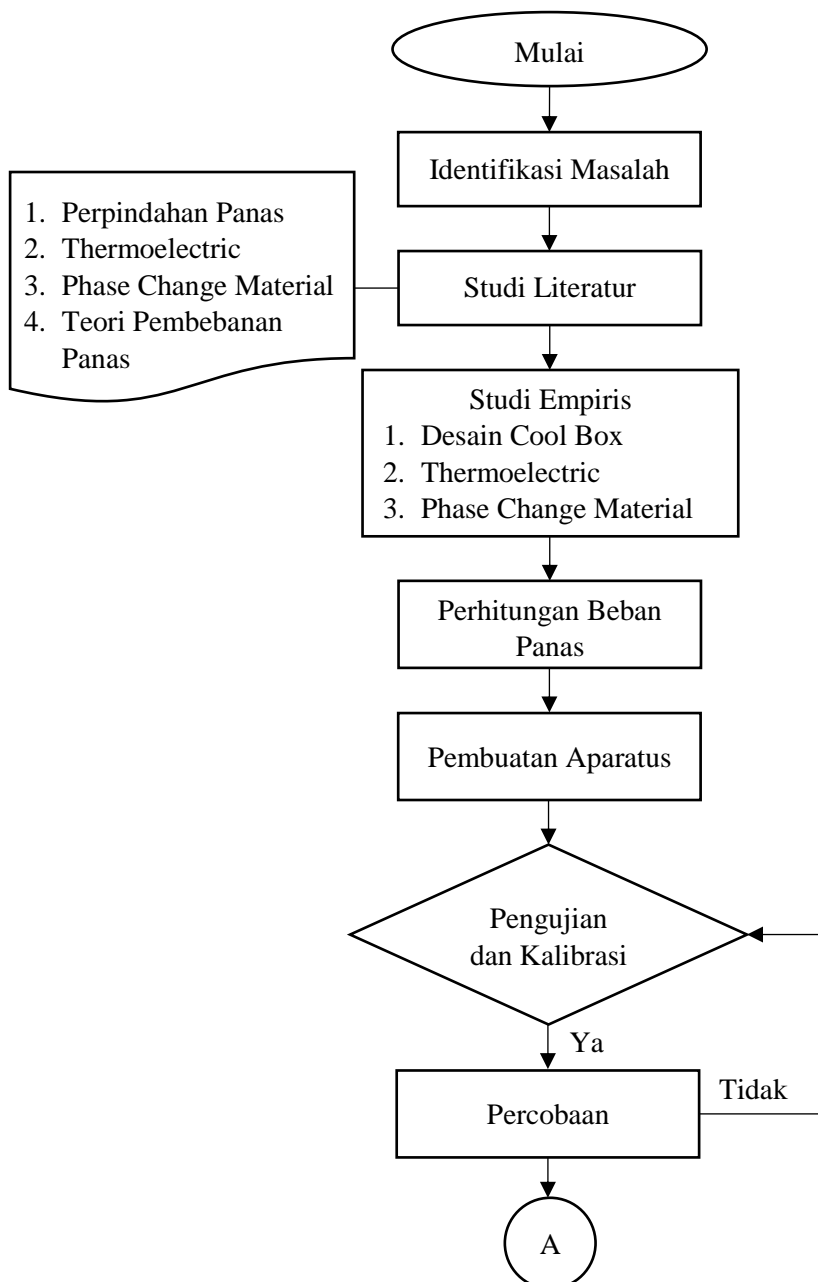
2.4.3 Pudjiastuti, Wiwik. 2011. *Jenis-jenis Bahan Berubah Fasa dan Aplikasinya.*

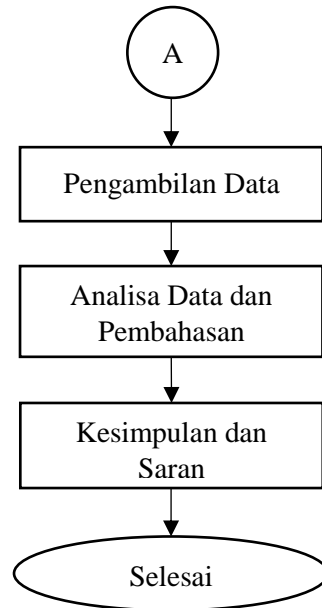
Bahan berubah fasa yang disebut sebagai bahan penyimpan panas laten adalah bahan yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam waktu yang cukup lama tanpa mengalami perubahan suhu. Berdasarkan titik leleh dan panas peleburan latennya, bahan berubah fasa diklasifikasikan menjadi 2 (dua) yaitu bahan organik dan anorganik serta satu jenis lagi yang merupakan kombinasi keduanya. Yang termasuk bahan organik adalah kelompok parafin dan non parafin. Sedangkan bahan anorganik umumnya berupa hidrat garam dan logam (*metallic*). Seiring cepatnya perkembangan masyarakat dan kebutuhan akan energi terbarukan, penggunaan bahan berubah fasa menjadi sangat luas. Penggunaan ini meliputi aplikasi untuk bangunan, perlindungan dan transportasi produk yang peka terhadap suhu, *ice storage* dan beberapa aplikasi lain seperti *green house* dan *cold storage*.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penyelesaian pengerjaan tugas akhir ini dengan menggunakan metode eksperimental. Langkah – langkah pelaksanaan eksperimen yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada *flow chart* dibawah ini.





3.1 Mengidentifikasi Masalah

Mengidentifikasi masalah dilakukan dengan mempelajari permasalahan pada saat ini yang menjadi kendala. Permasalahan saat ini yang dihadapi yaitu penggunaan media pendingin pada *cool box* yang masih menggunakan metode es batu (es basah) dan sistem pendingin kompresi uap.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan teori – teori dasar yang dapat menunjang dalam pengerjaan tugas akhir. Dalam mengumpulkan teori – teori dasar didapatkan dari buku, jurnal, paper serta tugas akhir karya orang lain. Studi literatur yang dilakukan mempelajari konsep perpindahan panas, pembebanan panas, efek peltier pada termoelektrik dan *phase change material*.

3.3 Studi Empiris

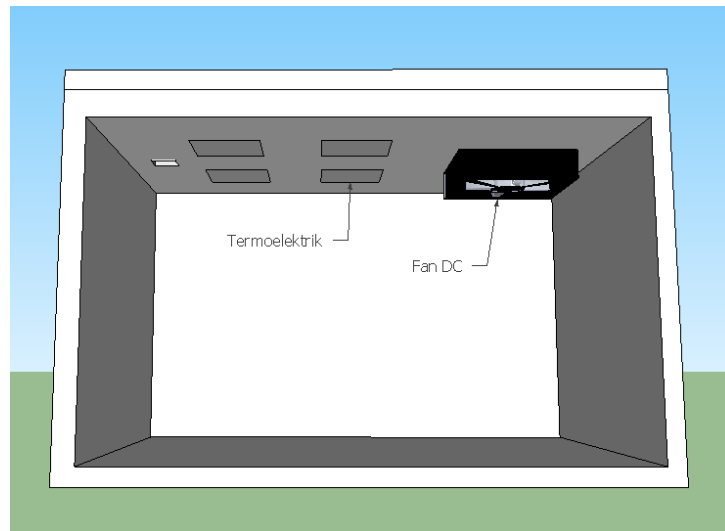
Studi empiris dilakukan dengan mempelajari dan dengan melakukan perkiraan kebutuhan media pendingin, beban pendingin pada *cool box*. Dalam hal ini dilakukan dengan mempelajari hasil paper dan tugas akhir karya orang lain dan melakukan perkiraan perhitungan kebutuhan pendingin dari sistem yang akan dirancang.

3.4 Perhitungan Beban Panas

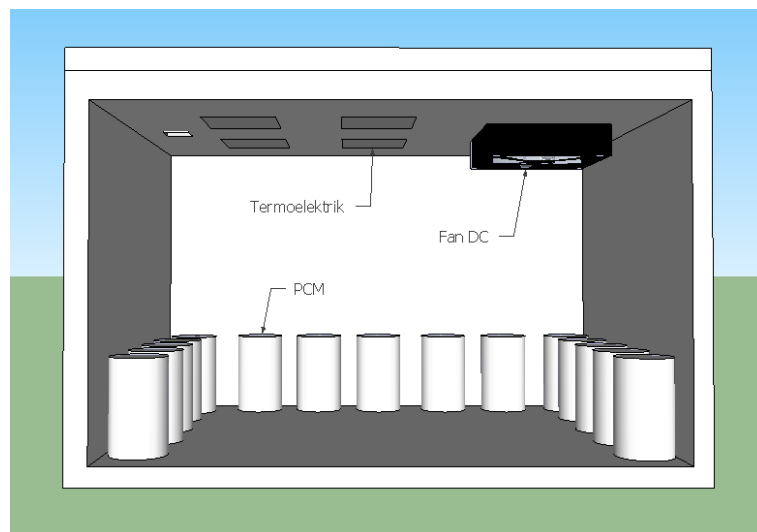
Pada tahapan ini dilakukan perhitungan beban panas yang dihasilkan oleh *cool box* dan produk. Panas yang dihasilkan oleh *cool box* merupakan panas yang berasal dari lingkungan yang masuk melewati rongga pada dinding *cool box*. Beban panas produk dan beban panas infiltrasi. *Cool box* yang digunakan menggunakan material *styrofoam*.

3.5 Pembuatan Aparatus

Pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan cool box yang berukuran 30 cm x 20,5 cm x 25,5 cm. Sistem pendingin yang dirancang menggunakan thermoelectric yang diletakkan di tutup *cool box*. PCM akan diletakkan mengelilingi sekitar dinding *cool box*. Sehingga nanti akan didapatkan data persebaran pendinginan pada *cool box* menggunakan termoelektrik dan menggunakan PCM.



Gambar 3.1 Rancangan Aparatus Tanpa PCM



Gambar 3.2 Rancangan Aparatus Dengan *Phase Change Material*

3.6 Pengujian dan Kalibrasi

Pengujian dan kalibrasi perlu dilakukan guna mendapatkan data hasil pengamatan yang sesuai dengan perancangan yang direncanakan. Kalibrasi dilakukan pada *cool box* dan peralatan yang akan digunakan dalam pengambilan data. Kalibrasi peralatan pada

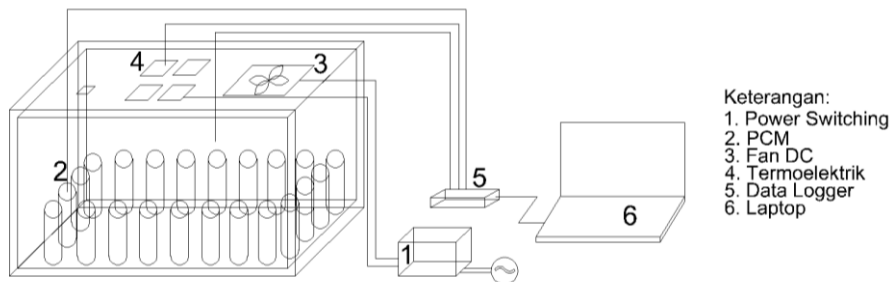
thermocouple yang digunakan untuk pengambilan data. Pada tahap pengujian akan memutuskan sistem yang kita rancang sesuai atau tidak. Jika sistem sesuai maka akan dilanjutkan ke tahap percobaan aparatus. Jika tidak sesuai maka sistem akan kembali pada tahap pembuatan aparatus.

3.7 Percobaan

Percobaan yang dilakukan menggunakan variasi jumlah termoelektrik dan PCM. Sehingga data yang akan didapatkan dari dilakukannya percobaan, pertama yaitu besarnya temperatur pada beberapa titik ketika proses pendinginan menggunakan termoelektrik dan menggunakan PCM. Kedua, waktu lamanya proses pendinginan di dalam *cool box*.



3.7.1 Metode Percobaan





Dalam penelitian ini dilakukan percobaan dengan menggunakan beberapa alat dan bahan yang menunjang dalam pengambilan data. Peralatan dan bahan yang digunakan sebagai berikut.



Gambar 3.3 Metode Percobaan

Tabel 3.1 Peralatan Percobaan

No	Nama	Gambar	Spesifikasi
1	<i>Cool Box</i>		Panjang: 0,3 m Lebar: 0,2 m Tinggi: 0,25 m Ketebalan: 0,02 m Material: Styrofoam
2	<i>Thermoelectric Cooler</i>		Hot Side Temperature: 27°C Qmax: 61,4 watts Delta Tmax : 70 °C Imax : 6,1 A Vmax : 16 V Module Resistance: 2 ohm

3	<i>Thermocouple</i>		Bead Probe K Type
4	<i>Data Logger</i>		14 analog input. Analog input range : 10 s/d 0.001 V Current output : 200 μ A
5	<i>Cold Storage</i>		Dimensi : P = 2400mm L = 1260mm T = 2500mm Ruang : 2 (<i>freezer dan chiller</i>) Refrigerant : R404A Compressor : Bitzer 2HC – 1,2 – 40 S Displacement 6,5 m ³ /h, 1450 RPM Evaporator : Muller MLT 013 Capacity 1345 W 4 Coil Rows 1 Fan Flow Rate 1224 m ³ /h
6	<i>Power Switching</i>		Input : 220 Volt AC Output : 12 Volt DC / 20 Ampere

7	PCM Organik		<p>Kode Produk : RT – 4</p> <p>Melting Area : -7 bis -3 °C (main peak -4)</p> <p>Congeaing Area : -4 bis -7 °C (main peak -4)</p> <p>Heat Storage Capacity : 180 Kj / Kg</p> <p>Specific heat capacity : 2 Kj / Kg K</p> <p>Density Solid at -15 °C : 0,88 Kg/l</p> <p>Density Liquid at 15 °C : 0,76 Kg/l</p> <p>Heat Conductivity : 0,2 W/m K</p> <p>Volume Expansion : 13,63 %</p> <p>Flash Point : 96 °C</p> <p>Max Operation Temp : 30 °C</p>
8	<i>Fan DC</i>		<p>Rated Voltage : 12 V</p> <p>Rated Current : 0,7 A</p> <p>Rated Input Power : 8,4 W</p> <p>Speed : 4500 RPM</p> <p>Maximum Air Flow : 1,824 m³/min</p>
9	<i>Clamp Meter</i>		<p>DCM 400 AD</p> <p>AC/DC Clamp Meter</p> <p>Vmaksimum : 600 V</p> <p>Imaksimum : 400 A</p>

3.7.2 Konsep Percobaan

A. Percobaan Termoelektrik

Percobaan termoelektrik dilakukan tanpa menggunakan PCM. Percobaan termoelektrik ini dilakukan untuk mendapatkan data pada sistem yang nantinya akan menjadi data pembandingan pada percobaan menggunakan PCM. Jumlah termoelektrik yang digunakan divariasikan jumlahnya 2 dan 4 buah.

B. Percobaan Termoelektrik dengan PCM

Percobaan termoelektrik dengan PCM dilakukan dengan menyusun PCM pada dinding – dinding *cool box*. Jumlah PCM yang digunakan pada percobaan ini divariasikan 1 L dan 2 L. Sementara jumlah termoelektrik yang digunakan divariasikan jumlahnya 2 dan 4 buah.

Sehingga dari konsep percobaan yang dilakukan akan memunculkan beberapa jenis percobaan yang akan dilakukan sebagai berikut.

1. Percobaan perubahan temperatur terhadap waktu dengan jumlah modul termoelektrik 2 buah dan tanpa menggunakan PCM.
2. Percobaan perubahan temperatur terhadap waktu dengan jumlah modul termoelektrik 4 buah dan tanpa menggunakan PCM.
3. Percobaan perubahan temperatur terhadap waktu dengan jumlah modul termoelektrik 2 buah dan dengan massa PCM sebanyak 1 L.
4. Percobaan perubahan temperatur terhadap waktu dengan jumlah modul termoelektrik 2 buah dan dengan massa PCM sebanyak 2 L.
5. Percobaan perubahan temperatur terhadap waktu dengan jumlah modul termoelektrik 4 buah dan dengan massa PCM sebanyak 1 L.
6. Percobaan perubahan temperatur terhadap waktu dengan jumlah modul termoelektrik 4 buah dan dengan massa PCM sebanyak 2 L.

Dalam proses pengambilan data terdapat beberapa parameter pada pelaksanaan percobaan pada sistem pendingin ini. Parameter – parameter yang dipakai pada saat percobaan yaitu sebagai berikut.

Tabel 3.2 Parameter Percobaan ke-1 dan ke-2

No	Parameter Percobaan	Percobaan ke-1	Percobaan ke-2
1	Jumlah PCM	-	-
2	Jumlah Modul Termoelektrik	2 buah	4 buah
3	Temperatur Lingkungan	30 °C	30 °C
4	Periode / Durasi	2 Jam	2 Jam

Tabel 3.3 Parameter Percobaan ke-3 dan ke-4

No	Parameter Percobaan	Percobaan ke-3	Percobaan ke-4
1	Jumlah PCM	1 L	2 L
2	Jumlah Modul Termoelektrik	2 buah	2 buah
3	Temperatur Lingkungan	30 °C	30 °C
4	Periode / Durasi	2 Jam	2 Jam

Tabel 3.4 Parameter Percobaan ke-5 dan ke-6

No	Parameter Percobaan	Percobaan ke-5	Percobaan ke-6
1	Jumlah PCM	1 L	2 L
2	Jumlah Modul Termoelektrik	4 buah	4 buah
3	Temperatur Lingkungan	30 °C	30 °C
4	Periode / Durasi	2 Jam	2 Jam

3.7.3 Prosedur Percobaan

3.7.3.1 Percobaan 2 Modul Termoelektrik 2 Tanpa PCM

1. Persiapkan aparatus yaitu cool box yang telah terpasang termoelektrik berjumlah 2 buah dan *thermocouple*.
2. Lakukan konfigurasi modul Labjack di PC dengan pengaturan pembacaan temperatur setiap 2 detik.
3. Menyalakan suplai listrik dengan memasang steker yang telah tersambung dengan *power switching* pada stop kontak.
4. Lakukan pengambilan data dengan mengamati perubahan temperatur didalam *cool box* setiap 2 detik dengan menggunakan bantuan software Labjack T7-Pro di PC.

3.7.3.2 Percobaan 4 Modul Termoelektrik 4 Tanpa PCM

1. Persiapkan aparatus yaitu cool box yang telah terpasang termoelektrik berjumlah 2 buah dan *thermocouple*.
2. Lakukan konfigurasi modul Labjack di PC dengan pengaturan pembacaan temperatur setiap 2 detik.
3. Menyalakan suplai listrik dengan memasang steker yang telah tersambung dengan *power switching* pada stop kontak.
4. Lakukan pengambilan data dengan mengamati perubahan temperatur didalam *cool box* setiap 2 detik dengan menggunakan bantuan software Labjack T7-Pro di PC.

3.7.3.3 Percobaan 2 Modul Termoelektrik 2 Dengan PCM 1 L

1. Persiapkan PCM sebanyak 1 L
2. Persiapkan cold storage dengan setting temperatur -20 °C
3. Masukkan PCM sebanyak 1 L di dalam cold storage dan amati perubahan temperatur PCM
4. Persiapkan aparatus yaitu cool box yang telah terpasang termoelektrik 2 buah dan *thermocouple*
5. Masukkan PCM yang telah dilakukan treatment mencapai temperatur PCM sebesar -20 °C sebanyak 1 kg ke dalam *cool box* dan diletakkan di dinding – dinding *cool box*
6. Lakukan konfigurasi modul Labjack di PC dengan pengaturan pembacaan temperatur setiap 2 detik
7. Menyalakan suplai listrik dengan memasang steker yang telah tersambung dengan *power switching* pada stop kontak
8. Lakukan pengambilan data dengan mengamati perubahan temperatur didalam *cool box* setiap 2 detik dengan menggunakan bantuan software Labjack T7-Pro di PC.

3.7.3.4 Percobaan 2 Modul Termoelektrik 2 Dengan PCM 2 L

1. Persiapkan PCM sebanyak 2 L
2. Persiapkan cold storage dengan setting temperatur -20 °C
3. Masukkan PCM sebanyak 2 L di dalam cold storage dan amati perubahan temperatur PCM
4. Persiapkan aparatus yaitu cool box yang telah terpasang termoelektrik 2 buah dan *thermocouple*
5. Masukkan PCM yang telah dilakukan treatment mencapai temperatur PCM sebesar -20 °C sebanyak 2 L ke dalam *cool box* dan diletakkan di dinding – dinding *cool box*
6. Lakukan konfigurasi modul Labjack di PC dengan pengaturan pembacaan temperatur setiap 2 detik
7. Menyalakan suplai listrik dengan memasang steker yang telah tersambung dengan *power switching* pada stop kontak
8. Lakukan pengambilan data dengan mengamati perubahan temperatur didalam *cool box* setiap 2 detik dengan menggunakan bantuan software Labjack T7-Pro di PC.

3.7.3.5 Percobaan 4 Modul Termoelektrik 4 Dengan PCM 1 L

1. Persiapkan PCM sebanyak 1 L
2. Persiapkan cold storage dengan setting temperatur -20 °C
3. Masukkan PCM sebanyak 1 L di dalam cold storage dan amati perubahan temperatur PCM
4. Persiapkan aparatus yaitu cool box yang telah terpasang termoelektrik 4 buah dan *thermocouple*
5. Masukkan PCM yang telah dilakukan treatment mencapai temperatur PCM sebesar -20 °C sebanyak 1 L ke dalam *cool box* dan diletakkan di dinding – dinding *cool box*

6. Lakukan konfigurasi modul Labjack di PC dengan pengaturan pembacaan temperatur setiap 2 detik
7. Menyalakan suplai listrik dengan memasang steker yang telah tersambung dengan *power switching* pada stop kontak
8. Lakukan pengambilan data dengan mengamati perubahan temperatur didalam *cool box* setiap 2 detik dengan menggunakan bantuan software Labjack T7-Pro di PC.

3.7.3.6 Percobaan 4 Modul Termoelektrik 4 Dengan PCM 2 L

1. Persiapkan PCM sebanyak 2 L
2. Persiapkan cold storage dengan setting temperatur -20 °C
3. Masukkan PCM sebanyak 2 L di dalam cold storage dan amati perubahan temperatur PCM
4. Persiapkan aparatus yaitu cool box yang telah terpasang termoelektrik 4 buah dan *thermocouple*
5. Masukkan PCM yang telah dilakukan treatment mencapai temperatur PCM sebesar -20 °C sebanyak 2 L ke dalam *cool box* dan diletakkan di dinding – dinding *cool box*
6. Lakukan konfigurasi modul Labjack di PC dengan pengaturan pembacaan temperatur setiap 2 detik
7. Menyalakan suplai listrik dengan memasang steker yang telah tersambung dengan *power switching* pada stop kontak
8. Lakukan pengambilan data dengan mengamati perubahan temperatur didalam *cool box* setiap 2 detik dengan menggunakan bantuan software Labjack T7-Pro di PC.

3.8 Pengambilan Data

Pada percobaan yang akan dilakukan pengambilan data yang dilakukan yaitu persebaran temperatur di dalam *cool box* yang dihasilkan oleh sistem pendingin sesuai dengan konsep percobaan yang akan dilakukan. Data ini didapatkan dari pembacaan temperatur menggunakan bantuan *thermocouple* yang diletakkan pada beberapa titik di dalam cool box yang terhubung dengan data logger. Proses pengambilan data dilakukan selama 2 jam.

3.9 Analisa Data dan Pembahasan

Analisa data dan pembahasan yang dilakukan terlebih dahulu dengan mengolah data hasil pembacaan *thermocouple*. Data hasil pembacaan dari *thermocouple* dilakukan pengolahan sehingga didapatkan grafik perbandingan antara temperatur dengan waktu. Analisa data dan pembahasan yang dilakukan dengan membandingkan proses pendinginan menggunakan termoelektrik dan termoelektrik dengan PCM. Serta melakukan analisa ekonomi pembuatan sistem pendingin.

3.10 Kesimpulan dan Saran

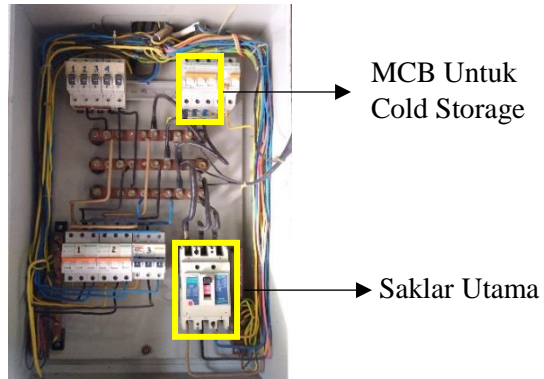
Kesimpulan diambil dari hasil percobaan yang telah dilakukan dan analisa sistem pendingin yang telah dirancang. Saran diberikan untuk percobaan selanjutnya karena

tidak menutup kemungkinan dilakukan penyempurnaan rancangan pada sistem sehingga didapatkan hasil yang maksimal.

3.11 Prosedur Pengoperasian Cold Storage

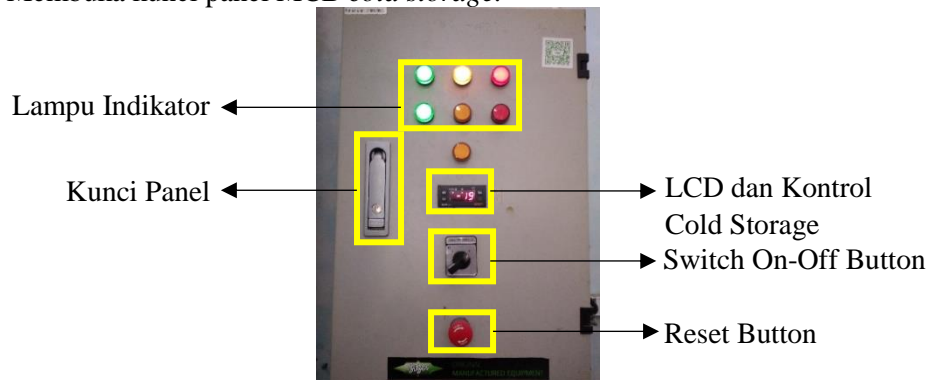
3.11.1 Prosedur Menyalakan Cold Storage

1. Menyalakan saklar utama untuk Laboratorium Mesin Fluida yang terletak pada panel MCB utama.



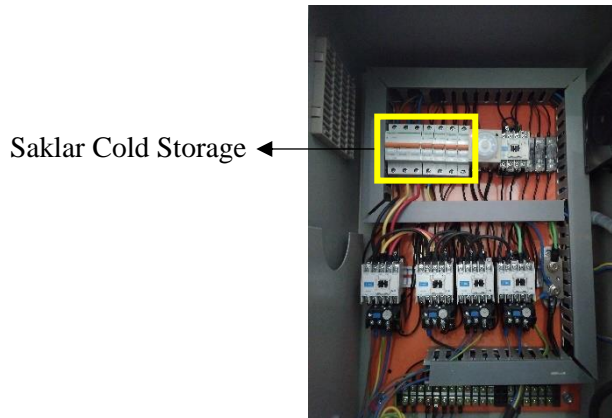
Gambar 3.4 Panel MCB Utama

2. Menyalakan MCB untuk *cold storage* pada panel MCB utama.
3. Membuka kunci panel MCB *cold storage*.



Gambar 3.5 Panel MCB Cold Storage

4. Menyalakan seluruh saklar pada panel MCB *cold storage* dengan mendorong ke arah atas.



Gambar 3.6 Panel MCB Cold Storage

5. Menyalakan *cold storage* dengan memutar *switch on-off* dari posisi angka 1 menjadi 2 hingga LCD *cold storage* menyala.



Gambar 3.7 Switch On - Off

6. Melakukan setting temperatur yang diinginkan :

Gambar 3.8 Kontrol *Cold Storage*

- a. Menekan tombol “SET” pada kontrol *cold storage* sehingga LCD menampilkan tulisan “SET”.
- b. Menekan tombol “SET” kembali hingga LCD menampilkan angka setting temperatur.
- c. Melakukan setting temperatur yang diinginkan dengan menekan tombol ke arah atas untuk menambah nilai temperatur atau menekan tombol ke arah bawah untuk mengurangi nilai temperatur.
- d. Menekan tombol “FNC” untuk mengembalikan pada tampilan yang menunjukkan temperatur pada *cold storage*.

7. Melakukan setting diferential temperatur,hal ini dilakukan untuk menentukan batasan temperatur sehingga sistem refrigerasi dapat menyala otomatis apabila temperatur kurang atau melebihi batas. Setting diferential temperatur dengan cara :



Gambar 3.9 Kontrol *Cold Storage*

- a. Menekan dan menahan tombol “SET” hingga tampilan LCD berubah menjadi “CP”.
- b. Menekan tombol “SET” hingga tulisan “CP” pada LCD berubah menjadi “DIF”.
- e. Menekan tombol “SET” hingga LCD menampilkan angka setting diferential temperatur.
- c. Melakukan setting diferential temperatur yang diinginkan dengan menekan tombol ke arah atas untuk menambah nilai diferential temperatur atau menekan tombol ke arah bawah untuk menurunkan nilai diferential temperatur.
- d. Menekan tombol “FNC” untuk mengembalikan pada tampilan yang menunjukkan temperatur pada *cold storage*.

3.11.2 Prosedur Mematikan *Cold Storage*

1. Mematikan *cold storage* dengan memutar *switch on-off* dari posisi angka 2 menjadi 1 hingga LCD *cold storage* mati.



Gambar 3.10 Switch On - Off

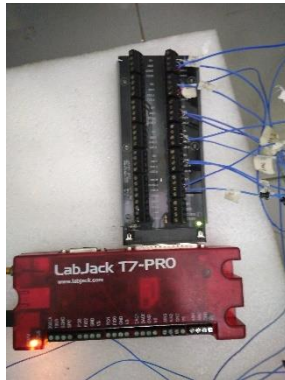
2. Mematikan seluruh saklar pada panel MCB *cold storage* dengan mendorong ke arah bawah.
3. Mengunci kembali panel MCB *cold storage*.
4. Menutup kembali pintu *cold storage*.
5. Mematikan MCB untuk *cold storage* pada panel MCB utama.
6. Mematikan saklar utama Workshop Laboratorium Mesin Fluida yang terletak pada panel MCB utama.

3.12 Prosedur Pengoperasian Data Logger LabJack T7-Pro

Pada percobaan ini dalam mengukur besarnya perubahan temperatur yang terjadi digunakan alat *data logger* LabJack T7-Pro. Pencatatan perubahan temperatur dilakukan secara real time. Sehingga proses pengambilan data menggunakan *data logger* sangatlah membantu.

3.12.1 Setting Data Logger LabJack T7-Pro

1. Thermocouple terlebih dahulu dipasang pada modul LabJack. Cara pemasangan *thermocouple* dengan cara memasangkan kabel negatif pada bagian yang bertuliskan “GND” sementara kabel positif pada posisi “AIN0”, “AIN1”, ...dst.



Gambar 3.11 *Thermocouple* pada LabJack

2. Hubungkan modul LabJack dengan laptop untuk dilakukan konfigurasi dengan menggunakan software kipling dan LJLogM.
3. Membuka *software* kipling untuk melakukan konfigurasi awal. Akan tampak tampilan seperti di bawah ini dengan memilih USB.



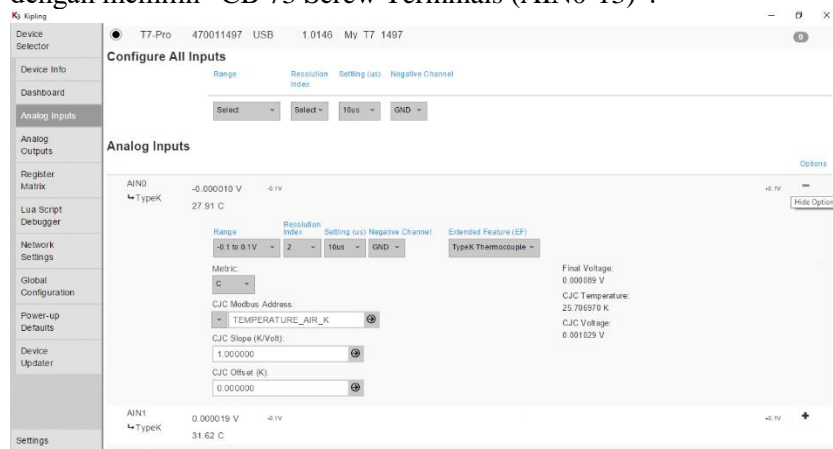
Gambar 3.12 Software Kipling

4. Pada software kipling terdapat beberapa pilihan menu dengan memilih menu *analog inputs*.



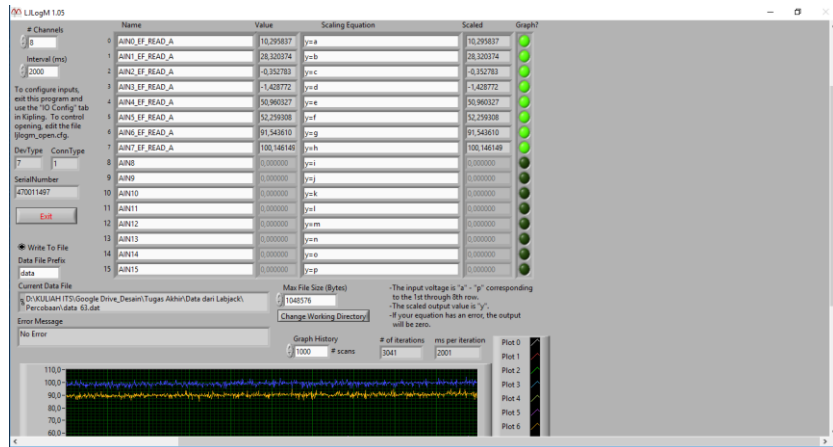
Gambar 3.13 Menu Analog Inputs

5. Setiap *thermocouple* yang terpasang harus di setting agar sesuai dengan parameter yang kita butuhkan. Dengan memilih tanda “+” untuk melakukan setting dari setiap *thermocouple* yaitu, jenis *thermocouple* yang digunakan dengan memilih “Type K *thermocouple*”, jenis satuan temperatur dengan memilih “C” atau Celcius dan letak pemasangan *thermocouple* pada modul dengan memilih “CB 73 Screw Terminals (AIN0-13)”.



Gambar 3.14 Setting Thermocouple

6. Mengecek kembali terhadap setting dari thermocouple sehingga sesuai parameter.
7. Menutup *software* kipling untuk melakukan pengaturan lanjutan pada *software* LJLogM.
8. Membuka *software* LJLogM.



Gambar 3.15 Software LjLogM

9. Memilih jumlah *thermocouple* yang digunakan pada menu #channel
10. Default hasil pembacaan masih dalam bentuk volt. Maka untuk melakukan perubahan nilai hasil bacaan dari *thermocouple* pada setiap kolom *name* menuliskan kode EF_READ_A.
11. Memasukkan nilai interval pada pengambilan data pada menu interval(ms). Default satuan pada menu interval (ms) adalah mili sekon.
12. Mengaktifkan grafik hasil pembacaan dengan menekan tombol pada kolom *graph?*
13. Memilih menu write to file untuk dilakukan proses pengambilan dan penyimpanan data.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Beban Panas

A. Perhitungan Beban Panas yang Melalui Dinding Cool Box

Dengan spesifikasi *cool box* sebagai berikut :

Panjang	: 0,3 m
Lebar	: 0,205 m
Tinggi	: 0,255 m
Ketebalan	: 0,02 m
Material	: Styrofoam
$k_{\text{styrofoam}}$: 0,028375 kkal/jam·m·°C
T_{ambient}	: 30 °C
T_{cooling}	: 7 °C
h	: 0,024 kkal/jam·m ² ·°C

Tabel 4.1 Luas Permukaan dinding cool box

Dinding	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
Bidang Kiri	0,255	0,205	0,052
Bidang Kanan	0,255	0,205	0,052
Bidang Atas	0,3	0,205	0,062
Bidang Bawah	0,3	0,205	0,062
Bidang Depan	0,3	0,255	0,077
Bidang Belakang	0,3	0,255	0,077

Untuk mendapatkan nilai beban panas yang melalui dinding *cool box* menggunakan persamaan perpindahan kalor menyeluruh.

$$q = U A \Delta T_{\text{menyeluruh}}$$

dengan U adalah koefisien perpindahan panas menyeluruh yang dapat diperoleh dari persamaan:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

dengan,

h = Koefisien Koveksi Udara

k = Koefisien Konduktifitas Thermal material *cool box*

Δx = Ketebalan dinding *cool box*

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{0,024} + \frac{0,02}{0,028375} + \frac{1}{0,024}} \\
 &= 0,011899 \text{ kkal/jam} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Pada *cool box* ketebalan seluruh dinding sama yaitu 0,02 m sehingga nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh bernilai sama pada tiap dinding. Namun nilai perpindahan panas tiap dinding berbeda dikarenakan luasan dinding *cool box* yang berbeda. Sehingga besar perpindahan panas pada dinding *cool box* sebagai berikut.

1. Panas Melalui Bidang Kiri

$$\begin{aligned} q &= U A \Delta T_{\text{menyeluruh}} \\ &= 0,0119 \times 0,052 \times (30^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}) \\ &= 0,0119 \times 0,052 \times 23 \\ &= 0,0143 \text{ kkal/jam} \\ &= 59,8886 \text{ Joule/jam} \end{aligned}$$

2. Panas Melalui Bidang Kanan

$$\begin{aligned} q &= U A \Delta T_{\text{menyeluruh}} \\ &= 0,0119 \times 0,052 \times (30^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}) \\ &= 0,011899 \times 0,052 \times 23 \\ &= 0,0143 \text{ kkal/jam} \\ &= 59,8886 \text{ Joule/jam} \end{aligned}$$

3. Panas Melalui Bidang Atas

$$\begin{aligned} q &= U A \Delta T_{\text{menyeluruh}} \\ &= 0,0119 \times 0,062 \times (30^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}) \\ &= 0,011899 \times 0,062 \times 23 \\ &= 0,0168 \text{ kkal/jam} \\ &= 70,4572 \text{ Joule/jam} \end{aligned}$$

4. Panas Melalui Bidang Bawah

$$\begin{aligned} q &= U A \Delta T_{\text{menyeluruh}} \\ &= 0,0119 \times 0,062 \times (30^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}) \\ &= 0,011899 \times 0,062 \times 23 \\ &= 0,0168 \text{ kkal/jam} \\ &= 70,4572 \text{ Joule/jam} \end{aligned}$$

5. Panas Melalui Bidang Depan

$$\begin{aligned} q &= U A \Delta T_{\text{menyeluruh}} \\ &= 0,0119 \times 0,077 \times (30^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}) \\ &= 0,011899 \times 0,077 \times 35 \\ &= 0,0209 \text{ kkal/jam} \\ &= 87,6419 \text{ Joule/jam} \end{aligned}$$

6. Panas Melalui Bidang Belakang

$$\begin{aligned} q &= U A \Delta T_{\text{menyeluruh}} \\ &= 0,0119 \times 0,077 \times (30^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}) \\ &= 0,011899 \times 0,077 \times 35 \\ &= 0,0209 \text{ kkal/jam} \\ &= 87,6419 \text{ Joule/jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan total laju perpindahan panas yang melalui dinding *cool box* sebesar.

$$q_{\text{total}} = (59,8886 + 59,8886 + 70,4572 + 70,4572 + 87,6419 + 87,6419) \text{ Joule/jam} \\ = 435,976 \text{ Joule/jam}$$

Maka besarnya energi panas yang berpindah masuk ke dalam *cool box* selama 2 jam adalah

$$Q = q \times \Delta t \\ = 435,9756 \text{ Joule/jam} \times 2 \text{ jam} \\ = 871,952 \text{ Joule}$$

B. Perhitungan Beban Panas Produk

Dihitung menggunakan persamaan :

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

Nilai c_p didapatkan dapat menggunakan persamaan siebel (1) dan (2) untuk pendekatan nilai c_p yang lebih akurat. Persamaan yang digunakan adalah C_{p2} untuk nilai diatas titik beku ikan serta menggunakan nilai umum fraksi air pada ikan yaitu 80%.

$$C_{p2} = 0,837 + 1,256 X_w$$

keterangan:

C_{p2} = panas spesifik ikan dibawah titik beku (kJ/kg °C)

X_w = fraksi massa air (%)

$$C_{p2} = 0,837 + 1,256 X_w$$

$$C_{p2} = 0,837 + 1,256 \times 80\% \\ = 3,5162 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \\ = 0,847 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$$

didapatkan besar beban produk adalah :

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \\ = 5 \times 3,52 \times (28 - 7) \\ = 369,6 \text{ kJ} = 369600 \text{ J}$$

C. Perhitungan Beban Panas Infiltrasi

Beban panas infiltrasi dengan asumsi secara umum sebesar 15% dari beban total penerimaan panas permukaan. (Ilyas,1983)

$$Q_{\text{infiltrasi}} = 15\% \times 871,951 \text{ J} \\ = 130,792 \text{ J}$$

D. Beban Panas Total

Beban panas total berasal dari beban panas yang melalui dinding *cool box*, beban panas produk, dan beban panas infiltrasi.

$$Q_{\text{total}} = 871,952 + 369600 + 130,792 \\ = 370602,744 \text{ J}$$

4.2 Perhitungan Kinerja Termoelektrik

Pada tahap perhitungan kinerja termoelektrik maka diperlukan beberapa parameter dan ketentuan yang diperlukan dalam tahap perhitungan. Berikut merupakan spesifikasi dari termoelektrik dan tahap perhitungan untuk menentukan kinerja dari termoelektrik :

4.2.1 Spesifikasi Modul Termoelektrik

V _{max}	: 16 Volt
I _{max}	: 6,1 Ampere
ΔT _{max}	: 70 °C
Th _{otside}	: 27 °C
Q _{cmax}	: 61,4 Watt
AC Resistance	: 2 Ohm

4.2.2 Perhitungan pada Percobaan Termoelektrik 2 Buah dengan PCM 2 Kg

Pada perhitungan ini pada pengambilan data menit ke – 60, termoelektrik terangkai seri dengan jumlah 2 buah. Hasil perhitungan dari beberapa variasi percobaan yang dilakukan terdapat pada lampiran.

4.2.2.1 Seebeck Coefficient (S_m)

Seebeck Coefficient (S_m) merupakan nilai yang sangat berpengaruh terhadap karakteristik bahan modul yang digunakan Untuk mendapatkan nilai koefisien seebeck dapat menggunakan persamaan berikut :

$$S_m = \frac{V_{max}}{(T_h + 273)}$$

Maka didapatkan hasil,

$$S_m = \frac{V_{max}}{(T_h + 273)}$$

$$S_m = \frac{16}{(93,46 + 273)}$$

$$S_m = 0,04366 \text{ (V/K)}$$

4.2.2.2 Thermal Conductance (K_m)

Thermal Conductance (K_m) sangat bergantung pada bertambahnya kecepatan rata – rata partikel dalam perpindahan energi. Semakin cepat partikel dalam perpindahan energi maka semakin bertambah nilai konduktansi panas. Nilai konduktansi panas didapatkan dengan persamaan berikut :

$$K_m = \frac{(T_h - \Delta T_{max}) \times V_{max} \times I_{max}}{2 \times T_h \times \Delta T_{max}}$$

Maka didapatkan hasil,

$$K_m = \frac{((273 + 93,46) - 315,31) \times 16 \times 6,1}{2 \times (273 + 93,46) \times 315,31}$$

$$K_m = 46,29 \text{ W/K}$$

4.2.2.3 Electrical Resistance (R_m)

Electrical Resistance (R_m) merupakan nilai hambatan listrik pada modul termoelektrik. Nilai tahanan elektrik didapatkan dengan persamaan berikut :

$$R_m = \frac{(T_h - \Delta T_{max}) \times V_{max}}{T_h \times I_{max}}$$

Maka didapatkan hasil,

$$R_m = \frac{(T_h - \Delta T_{max}) \times V_{max}}{T_h \times I_{max}}$$

$$R_m = \frac{((273 + 93,46) - 315,31) \times 16}{(273 + 93,46) \times 6,1}$$

$$R_m = 0,37 \text{ Ohm}$$

4.2.2.4 Figure of Merit (Z)

Figure of Merit (Z) merupakan nilai yang sangat berpengaruh terhadap termoelektrik. Semakin besar nilai Z maka performansi dari modul termoelektrik akan semakin baik. Nilai Z bergantung dari bahan semikonduktor pada termoelektrik. Nilai *figure of merit* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$Z = \frac{S_m^2}{R_m \times K_m}$$

Maka didapatkan hasil,

$$Z = \frac{0,04366^2}{0,37 \times 46,29}$$

$$Z = 0,000112 \text{ (1/K)}$$

4.2.2.5 Heat Rejection (Q_h)

Heat Rejection (Q_h) merupakan laju perpindahan panas yang dilepas pada sisi panas termoelektrik. Nilai *heat rejection* dipengaruhi oleh efek koduksi dan efek joulean. Nilai *heat rejection* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$Q_h = S_m \times I \times T_h + 0,5 \times R_m \times I^2 - K_m \times \Delta T$$

Maka didapatkan hasil,

$$Q_h = 0,04366 \times 1,36 \times (273 + 93,46) + 0,5 \times 0,37 \times 1,36^2 - 46,29 \times 315,31$$

$$Q_h = 15,29 \text{ Watt}$$

4.2.2.6 Heat Absorption (Q_c)

Heat Absorption (Q_c) merupakan laju perpindahan panas yang diserap pada sisi dingin termoelektrik. Kalor tersebut yang nantinya akan dilepas pada sisi panas modul termoelektrik. Nilai *heat absorption* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$Q_c = S_m \times I \times T_c - 0,5 \times R_m \times I^2 - K_m \times \Delta T$$

Maka didapatkan hasil,

$$Q_h = 0,04366 \times 1,36 \times (273 + 51,16) - 0,5 \times 0,37 \times 1,36^2 - 46,29 \times 315,31$$

$$Q_h = 12,10 \text{ Watt}$$

4.2.2.7 Electrical Driven Power (Qte)

Electrical Driven Power (Qte) merupakan nilai kerja listrik yang diperoleh dari perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin. Nilai *electrical driven power* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$Q_{te} = S_m \times I \times \Delta T + 0,5 \times R_m \times I^2$$

Maka didapatkan hasil,

$$Q_{te} = 0,04366 \times 1,36 \times 315,31 + 0,5 \times 0,037 \times 1,36^2$$

$$Q_{te} = 19,40 \text{ Watt}$$

4.2.2.8 Coefficient of Performancy (COP)

Nilai COP merupakan nilai performansi dari modul termoelektrik dalam kerjanya. Dengan nilai COP semakin tinggi maka kualitas bahan semikonduktor termoelektrik semakin bagus. Nilai COP didapatkan dengan persamaan berikut :

$$COP = Q_c / Q_{te}$$

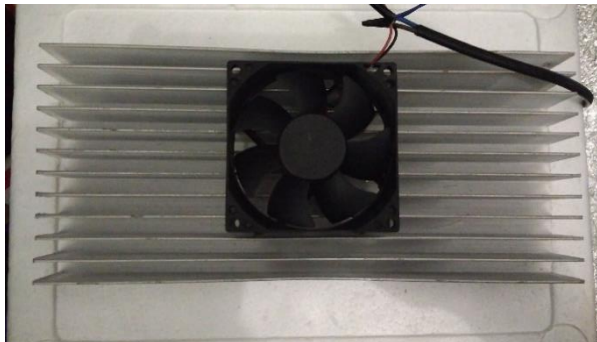
Maka didapatkan hasil,

$$COP = 12,10 / 19,40$$

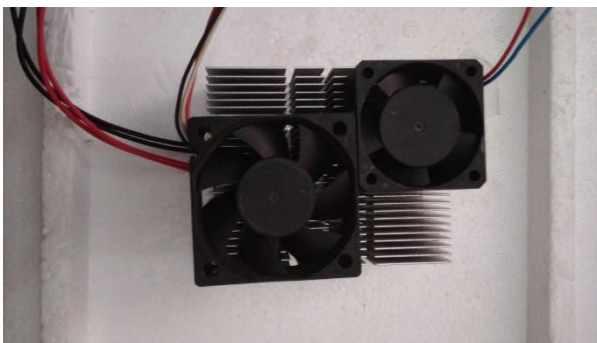
$$COP = 0,62$$

4.3 Analisa Desain Rancangan Aparatus

4.3.1 Model 1 Dengan *Heatsink* Pada Sisi Panas dan Sisi Dingin Termoelektrik



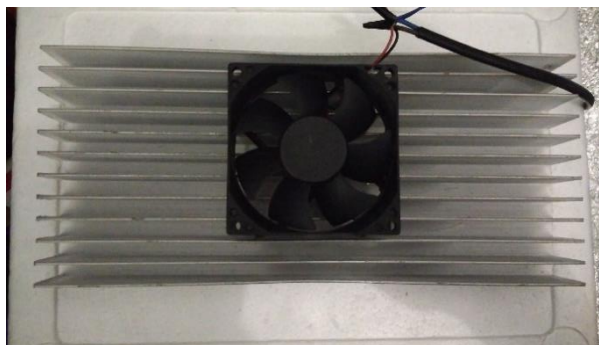
Gambar 4.1 Heatsink Sisi Panas Termoelektrik



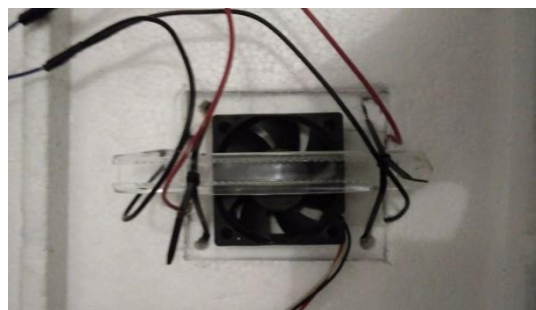
Gambar 4.2 Heatsink Sisi Dingin Termoelektrik

Pada gambar di atas merupakan desain rancangan aparatus dengan sisi panas dan sisi dingin termoelektrik terpasang dengan *heatsink*. *Heatsink* sisi panas memiliki dimensi panjang 0,28 m, lebar 0,12 m, dan jumlah fin 12. *Heatsink* sisi dingin memiliki dimensi panjang 0,08 m, lebar 0,07 m, dan jumlah fin 27. Didapatkan temperatur rata – rata ruangan *cool box* sebesar 27,69 °C dengan jumlah termoelektrik 2 buah dan durasi pengambilan data selama 1 jam 20 menit. Pada model ini memiliki kelebihan penambahan luasan pada sisi panas termoelektrik dengan *heatsink* sehingga dapat mempercepat pelepasan kalor. Akan tetapi kekurangan pada desain ini yaitu jika jumlah modul termoelektrik bertambah menjadi 4 maka kemampuan *heatsink* menurun sehingga temperatur sisi dingin mengalami peningkatan. *Heat rate* dari *heatsink* sisi panas sebesar 22,41 watt. Untuk menempelkan *heatsink* pada kedua sisi termoelektrik perlu di baut maka mengakibatkan terdapat celah pada *cool box*.

4.4.2 Model 2 Dengan *Heatsink* Pada Sisi Panas dan *Fan* Pada Sisi Dingin Termoelektrik



Gambar 4.3 *Heatsink* Sisi Panas Termoelektrik

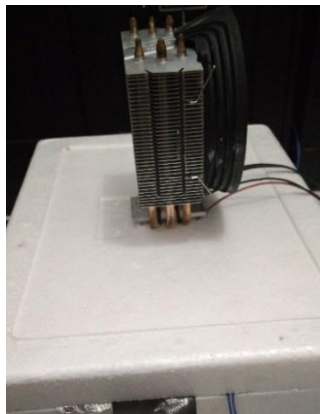


Gambar 4.4 Sisi Dingin Termoelektrik

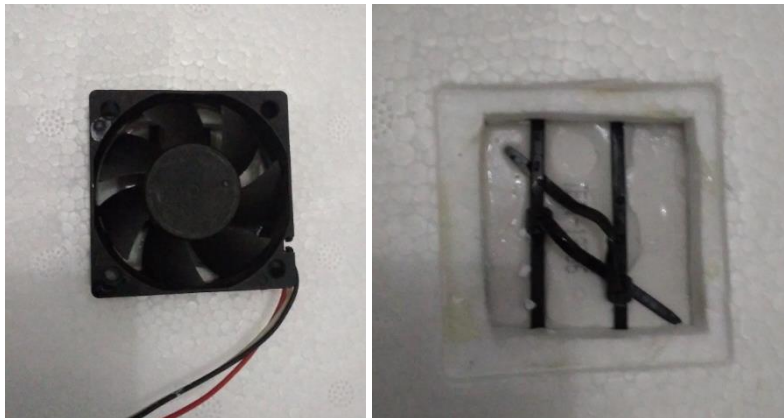
Pada gambar di atas merupakan desain rancangan aparatus dengan sisi dingin termoelektrik menggunakan *fan* saja dan sisi panas termoelektrik terpasang dengan *heatsink*. Jumlah termoelektrik yang digunakan sebanyak 2 buah. *Heatsink* sisi panas memiliki dimensi panjang 0,28 m, lebar 0,12 m, dan jumlah fin 12 dengan *heat rate* 22,41 watt. Pada sisi dingin menggunakan *fan* dengan dimensi

panjang 0,05 m, lebar 0,05 m, air velocity 0,2 m/s, flow rate 0,551 m³/menit. Kelebihan pada model ini yaitu penambahan luasan pada sisi panas termoelektrik dengan *heatsink* sehingga dapat mempercepat pelepasan kalor. Akan tetapi karena pada sisi dingin hanya menggunakan fan saja dan terkendala dengan pemasangan sehingga sisi panas yang menempel pada *heatsink* tidak maksimal sehingga rata – rata temperatur ruangan *cool box* sebesar 29,97 °C.

4.4.3 Model 3 Dengan *Heat Pipe* Pada Sisi Panas dan *Fan* Pada Sisi Dingin Termoelektrik



Gambar 4.5 *Heatpipe* Sisi Panas Termoelektrik

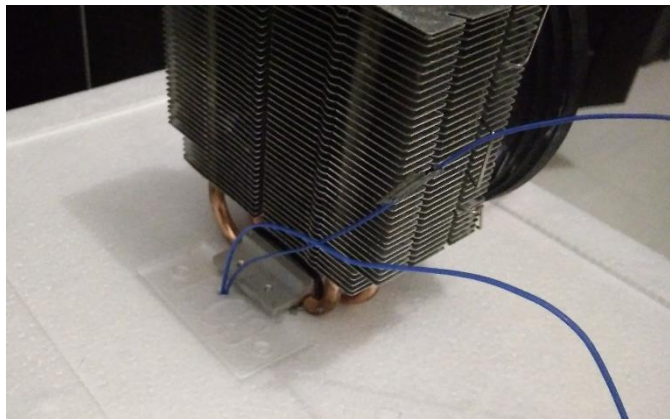


Gambar 4.6 Sisi Dingin Termoelektrik

Pada gambar di atas merupakan desain rancangan aparatus dengan sisi panas terpasang pada *heat pipe* sementara sisi dingin termoelektrik menggunakan fan. Jumlah termoelektrik yang digunakan sebanyak 1 buah. Pada sisi dingin menggunakan fan dengan dimensi panjang 0,05 m, lebar 0,05 m, air velocity 0,2 m/s, flow rate 0,551 m³/menit. Didapatkan temperatur rata – rata ruangan *cool box* sebesar 25,62 °C dengan durasi pengambilan data selama 120 menit. Pada model ini memiliki kelebihan penambahan luasan pada sisi panas termoelektrik yaitu

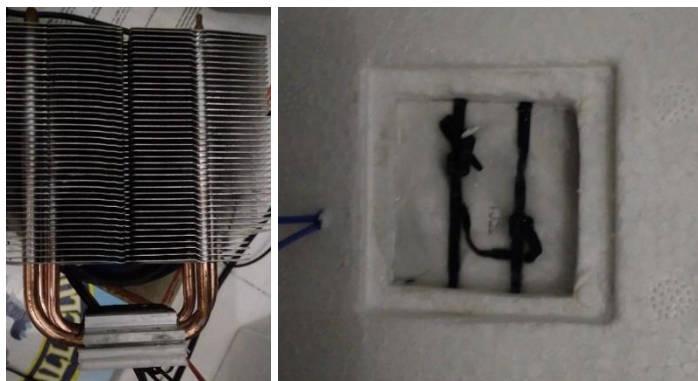
dengan *heat pipe* sehingga mampu mempercepat pelepasan kalor. Akan tetapi kekurangan pada desain ini yaitu jumlah modul termoelektrik yang terpasang terbatas hanya 2 modul. Jika lebih dari 2 modul kemampuan *heat pipe* menurun sehingga temperatur sisi dingin mengalami peningkatan. Pada sisi dingin aliran udara dari fan menuju sisi dingin dari termoelektrik. Sisi dingin termoelektrik mengalami kondensasi yang mengakibatkan munculnya tetesan air yang dapat mengakibatkan rusaknya motor listrik pada fan.

4.3.4 Model 4 Dengan *Heat Pipe* Pada Sisi Panas Termoelektrik



Gambar 4.7 Sisi Panas Termoelektrik

Pada gambar di atas merupakan desain rancangan aparatus dengan sisi panas terpasang pada *heat pipe* sementara sisi dingin termoelektrik dibiarkan terbuka. Jumlah termoelektrik yang digunakan sebanyak 2 buah. Pada sisi dingin dibiarkan tanpa ada perlakuan tambahan.

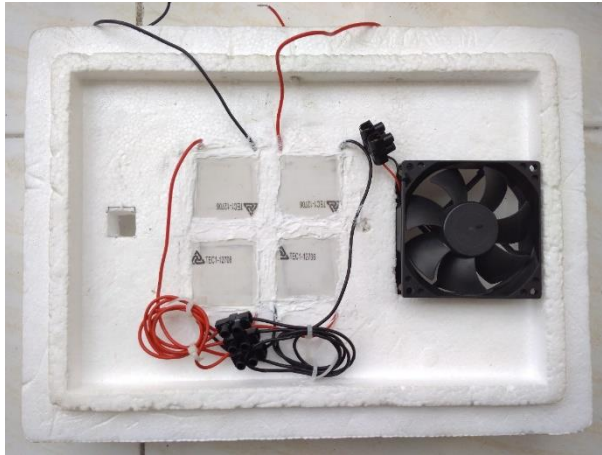


Gambar 4.8 Sisi Dingin Termoelektrik

Didapatkan temperatur rata – rata ruangan cool box sebesar 23,03 °C dengan durasi pengambilan data selama 120 menit. Kelebihan pada model ini yaitu penambahan luasan pada sisi panas termoelektrik yaitu dengan *heat pipe* sehingga mampu mempercepat pelepasan kalor. Akan tetapi karena pada sisi dingin

dibiarkan tanpa ada perlakuan tambahan. Pada percobaan ini sisi dingin dari termoelektrik terbentuk bunga es akan tetapi titik yang mengalami penurunan temperatur hanya pada sisi dingin termoelektrik. Sehingga mengakibatkan penurunan temperatur udara pada *cool box* tidak merata.

4.3.5 Model 5 Dengan Mensirkulasikan Udara Pada Ruang *Cool Box*



Gambar 4.9 Sisi Dingin Termoelektrik



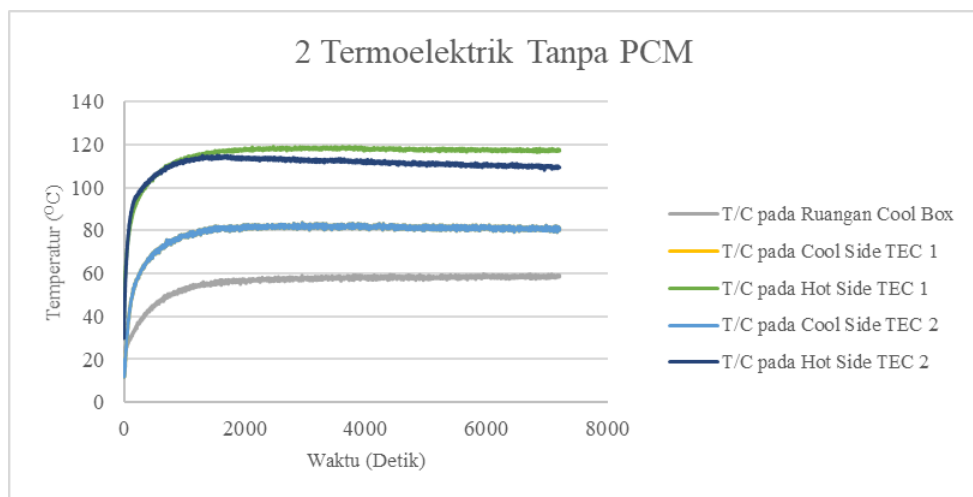
Gambar 4.10 *Cool Box* Model 5

Pada gambar di atas merupakan desain rancangan aparatus yang mensirkulasikan udara pada ruangan *cool box*. Penyebaran temperatur pada ruangan *cool box* akan merata. Pada rancangan ini dimodelkan bahwa sisi panas termoelektrik yang berfungsi untuk melepas kalor akan didinginkan dengan sirkulasi udara dingin yang diakibatkan oleh *phase change material* yang telah dibekukan. Kalor yang dilepaskan oleh termoelektrik akan diserap oleh *phase change material*. Pada model ini memiliki kelebihan penyebaran temperatur udara pada ruangan *cool box* lebih merata dibandingkan dengan beberapa model yang

telah dirancang. Pada model ini *heatsink* digantikan dengan aliran udara dingin yang dialirkan dengan fan. Laju aliran pada *fan* sebesar $1,774 \text{ m}^3/\text{menit}$. Didapatkan temperatur udara ruangan *cool box* terendah pada yaitu $6,86^\circ\text{C}$. Pada percobaan dengan 2 modul termoelektrik dan PCM 2 L dengan durasi pengambilan data selama 2 jam. Akan tetapi kekurangan pada desain ini yaitu kalor yang dihasilkan oleh termoelektrik tersirkulasi pada ruangan *cool box*. Sehingga pada model 5 dengan mensirkulasikan udara pada ruangan *cool box* dipilih menjadi rancangan apparatus untuk percobaan dan pengambilan data.

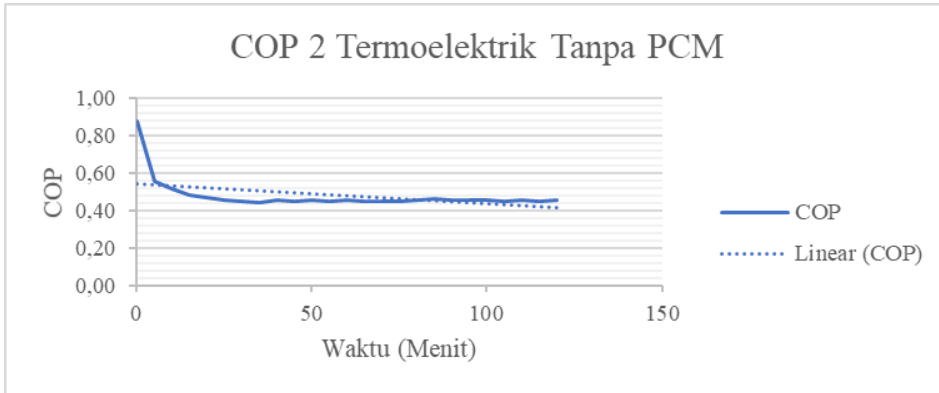
4.4 Analisa Hasil Percobaan

4.4.1 Percobaan 2 Modul Termoelektrik Tanpa PCM



Gambar 4.11 Grafik Percobaan 2 Modul Termoelektrik Tanpa PCM

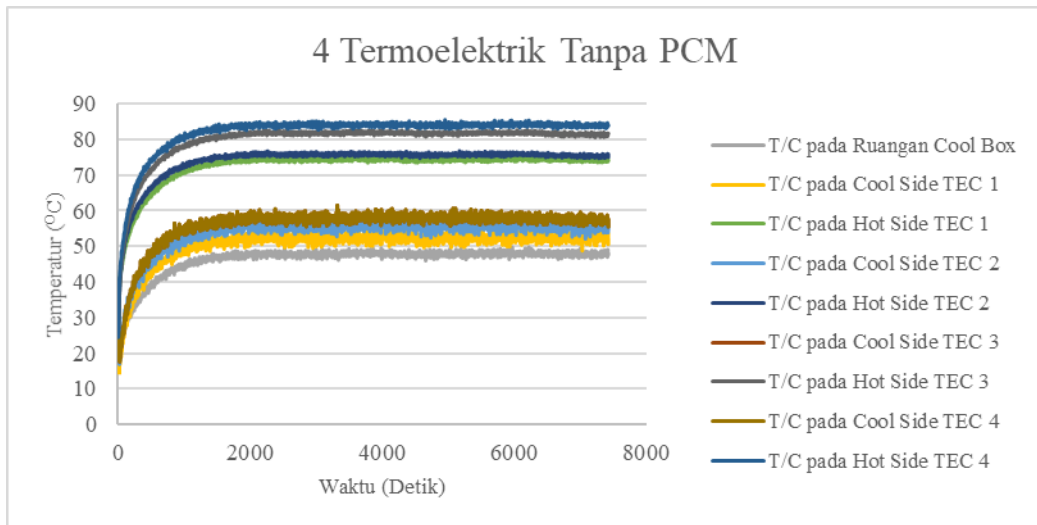
Pada grafik diatas merupakan hasil dari percobaan dengan menggunakan termoelektrik dengan jumlah 2 modul tanpa PCM. Perubahan temperatur yang menunjukkan nilai yang konstan setelah pengambilan data selama 35 menit. Rata-rata temperatur ruangan *cool box* $54,83^\circ\text{C}$ dengan jumlah arus yang dibutuhkan sebesar 1,28 ampere. Rata-rata temperatur pada sisi dingin sebesar $78,94^\circ\text{C}$ sementara pada sisi panas yaitu $110,39^\circ\text{C}$. Semakin besar nilai arus yang disuplai maka perbedaan temperatur kedua sisi termoelektrik semakin meningkat. Pada percobaan ini temperatur udara ruangan *cool box* yang dihasilkan cukup tinggi sebesar $54,83^\circ\text{C}$. Hal ini disebabkan oleh sisi panas pada termoelektrik yang merupakan sisi yang melepas kalor hanya dibantu dengan aliran udara dari fan. Rata – rata temperatur sisi panas sebesar $110,39^\circ\text{C}$ dan rata – rata kalor yang dilepas pada sisi panas sebesar 10,91 watt. Untuk mempercepat pelepasan kalor dapat dilakukan dengan memperluas bidang sisi panas termoelektrik.



Gambar 4.12 Grafik COP Percobaan 2 Modul Termoelektrik Tanpa PCM

Pada grafik COP percobaan 2 modul termoelektrik tanpa PCM menunjukkan trendline nilai kinerja dari termoelektrik yang mengalami penurunan. Rata – rata COP termoelektrik sebesar 0,48. Hal ini dikarenakan sisi panas dari termoelektrik tidak dapat melepas kalor dengan cepat mengakibatkan sisi dingin termoelektrik mengalami peningkatan temperatur. Sehingga kalor yang di serap tidak dapat secara maksimal.

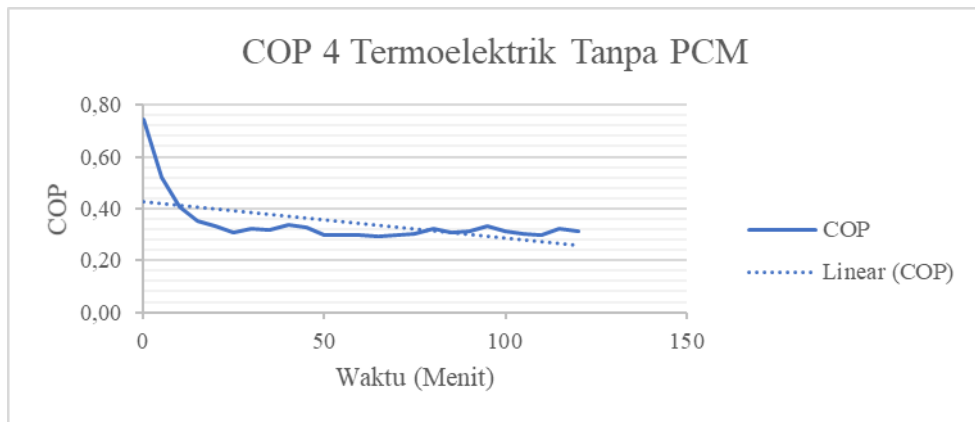
4.4.2 Percobaan 4 Modul Termoelektrik Tanpa PCM



Gambar 4.13 Grafik Percobaan 4 Modul Termoelektrik Tanpa PCM

Pada grafik diatas merupakan hasil dari percobaan dengan menggunakan termoelektrik dengan jumlah 4 modul tanpa PCM. Perubahan temperatur yang terjadi menunjukkan nilai yang konstan setelah pengambilan data selama 30 menit. Rata-rata temperatur ruangan *cool box* 45,76 °C dengan jumlah arus yang dibutuhkan rata – rata sebesar 0,75 ampere. Jumlah modul yang digunakan semakin bertambah mengakibatkan nilai arus yang dibutuhkan semakin kecil

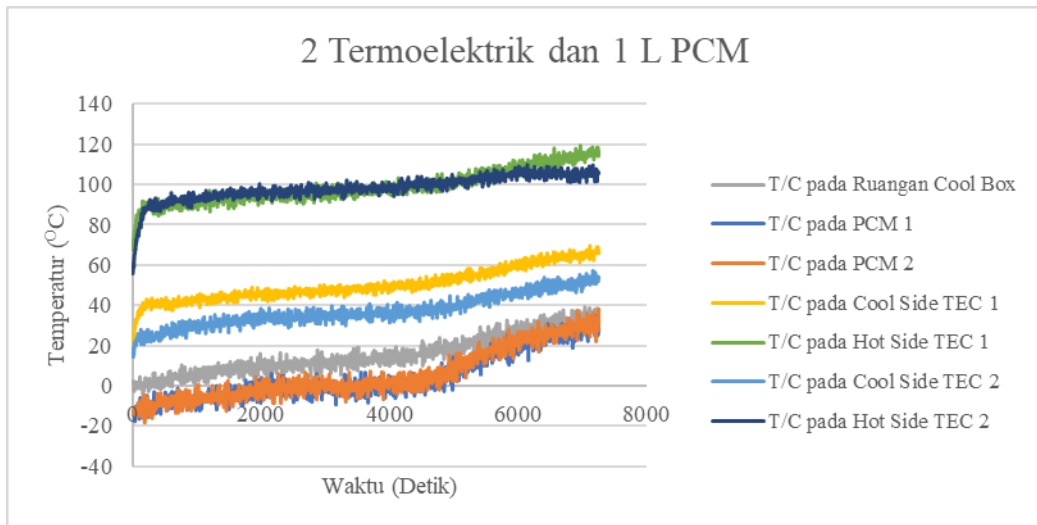
karena terangkai seri. Pada percobaan ini temperatur udara ruangan *cool box* yang dihasilkan lebih rendah $9,07^{\circ}\text{C}$ jika dibandingkan dengan percobaan termoelektrik 2 modul tanpa PCM. Rata-rata temperatur pada sisi dingin sebesar $53,66^{\circ}\text{C}$ sementara pada sisi panas yaitu $75,56^{\circ}\text{C}$. Rata – rata kalor yang dilepas pada sisi panas sebesar 4,57 watt. Sisi panas pada termoelektrik yang merupakan sisi yang melepas kalor hanya dibantu dengan aliran udara dari fan. Sehingga pelepasan kalor yang terjadi pada termoelektrik tidak maksimal. Untuk mempercepat pelepasan kalor dapat dilakukan dengan memperluas bidang sisi panas termoelektrik.



Gambar 4.14 Grafik COP Percobaan 4 Modul Termoelektrik Tanpa PCM

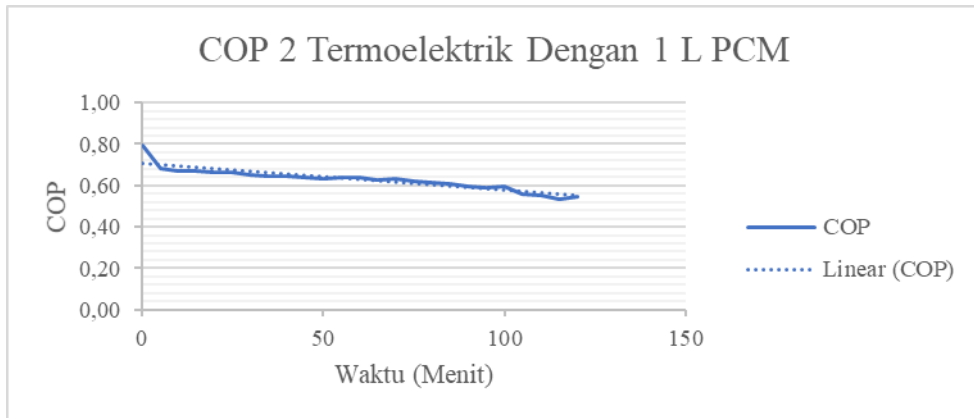
Pada grafik COP percobaan 4 modul termoelektrik tanpa PCM menunjukkan trendline nilai kinerja dari termoelektrik yang mengalami penurunan. Rata – rata COP termoelektrik pada percobaan ini 0,34. Hal ini dikarenakan sisi panas dari termoelektrik tidak dapat melepas kalor dengan cepat mengakibatkan sisi dingin termoelektrik mengalami peningkatan temperatur. Sehingga kalor yang di serap juga tidak dapat secara maksimal.

4.4.3 Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 Liter



Gambar 4.15 Grafik Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 L

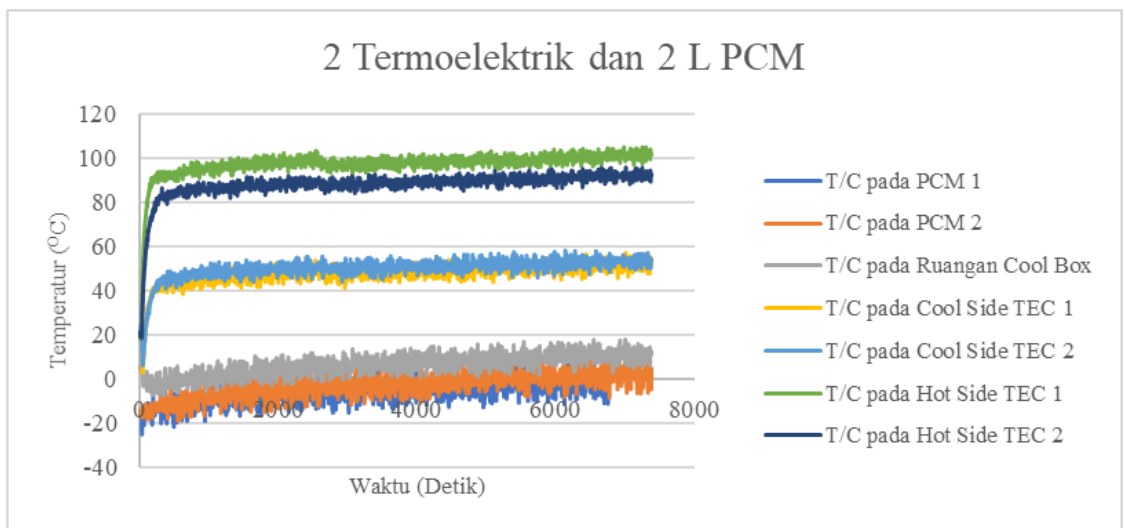
Pada grafik diatas merupakan hasil dari percobaan dengan menggunakan termoelektrik dengan jumlah 2 modul dan PCM 1 L. Dapat dilihat untuk temperatur ruangan *cool box* pada pengambilan data selama 2 jam rata-rata yaitu 15,56 °C. Temperatur ruangan *cool box* mengalami peningkatan temperatur yang cukup signifikan pada saat proses pengambilan data setelah selama 1 jam 15 menit, hal ini dikarenakan kalor yang dilepaskan pada sisi panas rata – rata sebesar 16,02 watt sehingga kemampuan PCM dalam mempertahankan temperatur ruangan *cool box* berkurang. Beban panas yang diterima oleh PCM berasal dari beban panas yang melalui dinding *cool box*, beban panas produk, beban panas infiltrasi dan kalor yang dilepaskan oleh sisi panas termoelektrik. Rata-rata temperatur pada sisi dingin sebesar 43,24°C sementara pada sisi panas yaitu 97,93°C. Selain itu juga temperatur sisi panas dari termoelektrik mengalami peningkatan dikarenakan sisi panas dari termoelektrik yang merupakan sisi yang berfungsi untuk melepas kalor tidak maksimal. Dikarenakan udara yang disirkulasikan menggunakan fan telah mengalami peningkatan temperatur. Sehingga kemampuan sisi dingin dalam menyerap kalor berkurang.



Gambar 4.16 Grafik Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 L

Pada grafik percobaan COP 2 modul termoelektrik dengan PCM 1 L menunjukkan trendline nilai kinerja dari termoelektrik yang mengalami penurunan. Akan tetapi penurunan yang dialami tidak drastis dibandingkan dengan percobaan 2 modul termoelektrik tanpa PCM. Karena PCM menyerap kalor yang dihasilkan termoelektrik. Rata – rata COP termoelektrik pada percobaan ini 0,63.

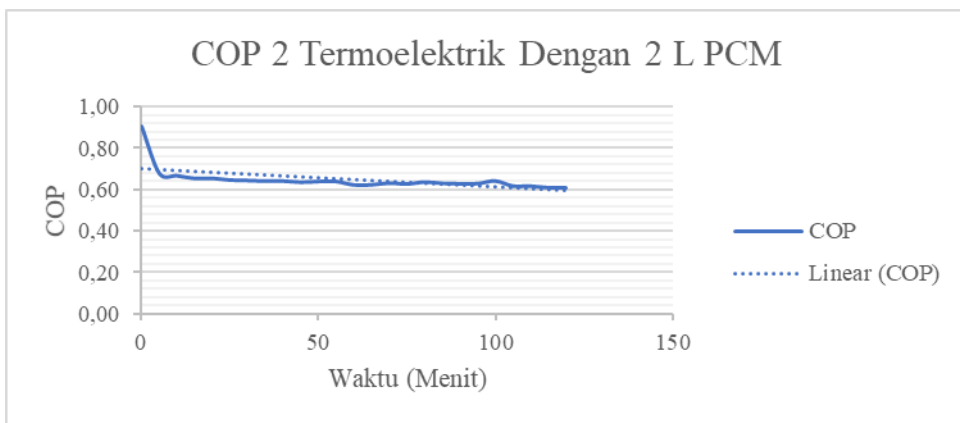
4.4.4 Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 Liter



Gambar 4.17 Grafik Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 L

Pada grafik diatas merupakan hasil dari percobaan dengan menggunakan termoelektrik dengan jumlah 2 buah dan PCM 2 L. Dapat dilihat untuk temperatur ruangan *cool box* pada pengambilan data selama 2 jam rata-rata yaitu 6,86 °C, lebih rendah jika dibandingkan dengan percobaan dengan menggunakan termoelektrik dengan jumlah 2 buah dan PCM 1 L. Hal ini dikarenakan jumlah dari PCM yang digunakan sebanyak 2 L, sehingga kemampuan PCM dalam

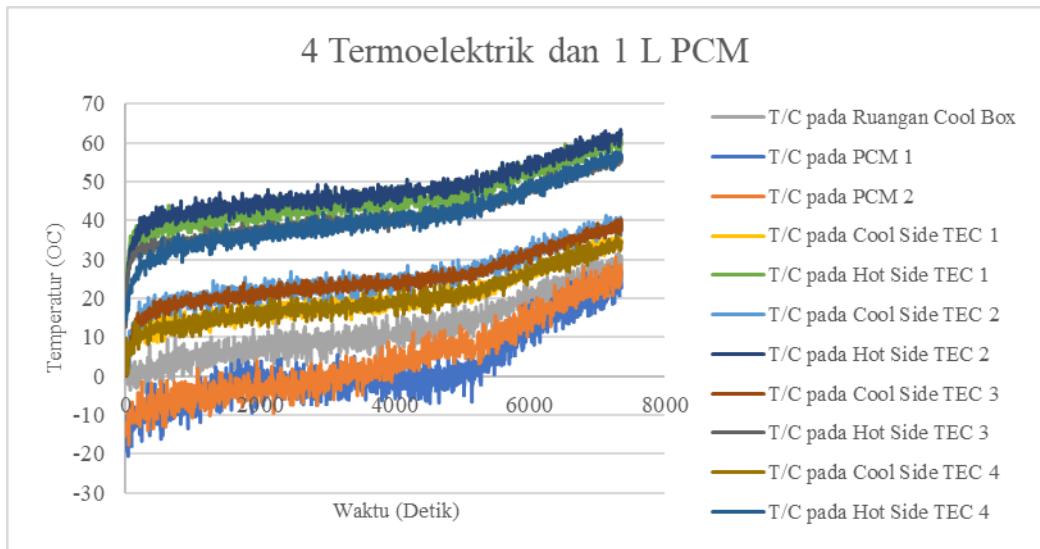
mempertahankan temperatur ruangan *cool box* lebih lama dan menyerap kalor dari sisi panas termoelektrik lebih efektif. Temperatur ruangan *cool box* mengalami peningkatan temperatur yang tidak signifikan pada saat proses pengambilan data selama 2 jam. Rata – rata kalor yang dilepas pada sisi panas sebesar 16,55 watt. Beban panas yang diterima oleh PCM berasal dari beban panas yang melalui dinding *cool box*, beban panas produk, beban panas infiltrasi dan kalor yang dilepaskan oleh sisi panas termoelektrik. Peningkatan temperatur sisi panas dari termoelektrik sendiri cenderung konstan. Rata-rata temperatur pada sisi dingin sebesar $48,57^{\circ}\text{C}$ sementara pada sisi panas yaitu $90,76^{\circ}\text{C}$. Dikarenakan sisi panas dari termoelektrik yang merupakan sisi yang berfungsi untuk melepas kalor mengalami pendinginan dari udara yang disirkulasikan dengan fan. Pada percobaan ini termoelektrik dirangkai seri dengan rata-rata arus sebesar 1,42 ampere.



Gambar 4.18 Grafik Percobaan 2 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 L

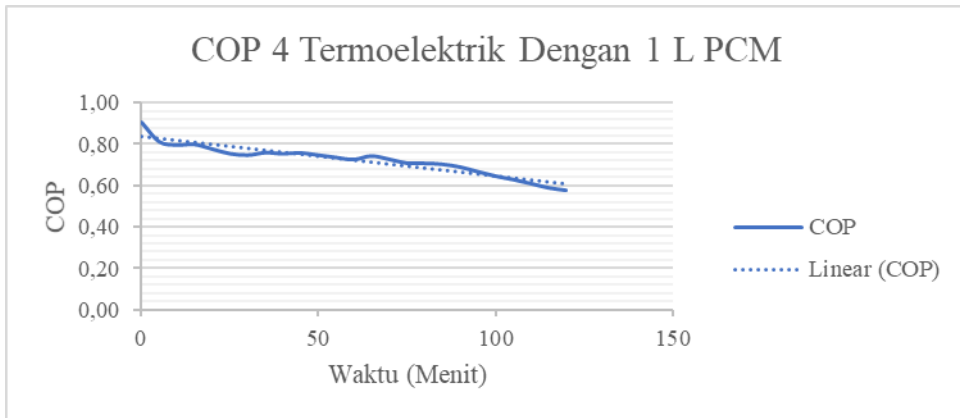
Pada grafik COP 2 modul termoelektrik dengan PCM 2 L menunjukkan trendline nilai kinerja dari termoelektrik yang mengalami penurunan. Jika dibandingkan dengan percobaan 2 modul termoelektrik dengan PCM 1 L rata-rata nilai COP pada percobaan ini yaitu 0,65.

4.4.5 Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 Liter



Gambar 4.19 Grafik Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 L

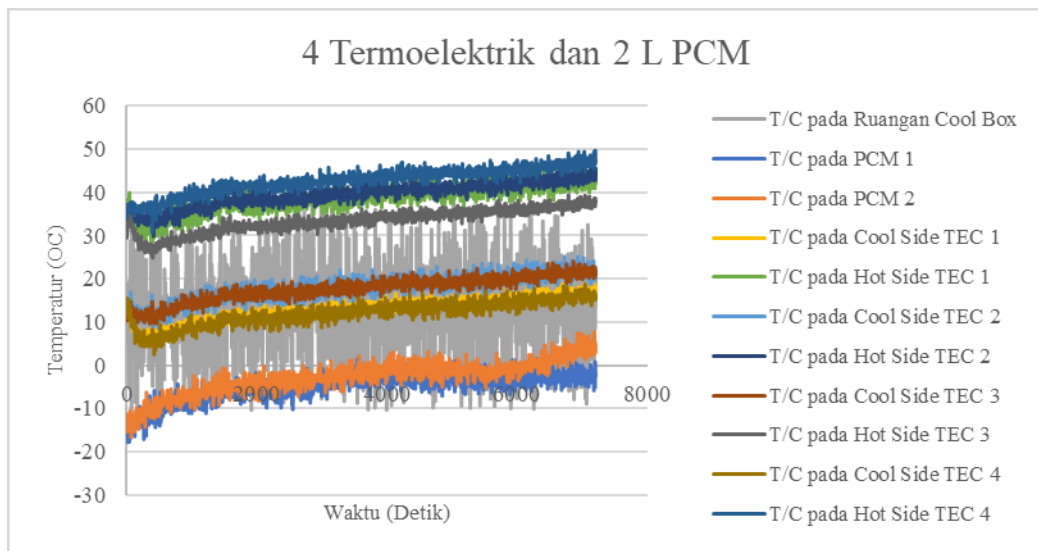
Pada grafik diatas merupakan hasil dari percobaan dengan menggunakan termoelektrik dengan jumlah 4 buah dan PCM 1 L. Dapat dilihat untuk temperatur ruangan *cool box* pada pengambilan data selama 2 jam rata-rata yaitu 12,13 °C. Nilai temperatur ruangan *cool box* pada percobaan ini lebih rendah jika dibandingkan dengan percobaan dengan menggunakan termoelektrik dengan jumlah 2 buah dan PCM 1 L. Hal ini dikarenakan jumlah dari termoelektrik yang digunakan sebanyak 4 buah, sehingga arus yang dibutuhkan oleh termoelektrik lebih rendah dibandingkan dengan 2 termoelektrik . Rata-rata arus yang dibutuhkan pada pecobaan ini sebesar 0,87 ampere sementara pada percobaan dengan menggunakan termoelektrik dengan jumlah 2 buah dan PCM 1 L rata-rata arus yang dibutuhkan sebesar 1,34 ampere. Rata – rata kalor yang dilepas pada sisi panas sebesar 10,65 watt. Beban panas yang diterima oleh PCM berasal dari beban panas yang melalui dinding *cool box*, beban panas produk, beban panas infiltrasi dan kalor yang dilepaskan oleh sisi panas termoelektrik. Rata-rata temperatur pada sisi dingin sebesar 22,19°C sementara pada sisi panas yaitu 43,07°C. Kemampuan PCM dalam mempertahankan temperatur ruangan cool box menurun pada saat pengambilan data setelah selama 1 jam 15 menit. Temperatur ruangan cool box mengalami peningkatan temperatur karena kalor yang dilepas oleh termoelektrik. Pengkondisian sisi panas dari termoelektrik dengan bantuan sirkulasi udara dari ruang *cool box* kurang maksimal karena PCM mengalami peningkatan temperatur.



Gambar 4.20 Grafik Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 1 L

Pada grafik COP 4 modul termoelektrik dengan PCM 1 L menunjukkan trendline nilai kinerja dari termoelektrik yang mengalami penurunan. Jika dibandingkan dengan percobaan 2 modul termoelektrik dengan PCM 1 L rata-rata nilai COP pada percobaan ini yaitu 0,73.

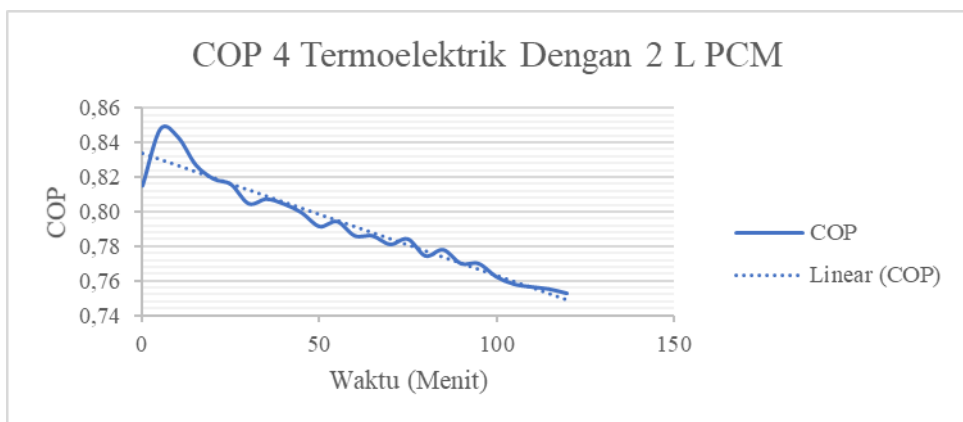
4.4.6 Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 Liter



Gambar 4.21 Grafik Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 L

Pada grafik diatas merupakan hasil dari percobaan dengan menggunakan termoelektrik dengan jumlah 4 buah dan PCM 2 L. Dapat dilihat untuk temperatur ruangan cool box pada pengambilan data selama 2 jam rata-rata yaitu 15,71 °C. Nilai temperatur ruangan cool box pada percobaan ini lebih rendah jika dibandingkan dengan percobaan dengan menggunakan termoelektrik dengan jumlah 2 buah dan PCM 2 L. Rata-rata arus yang dibutuhkan pada percobaan ini sebesar 0,91 ampere sementara pada percobaan dengan menggunakan

termoelektrik dengan jumlah 2 buah dan PCM 2 L rata-rata arus yang dibutuhkan sebesar 1,42 ampere. Rata-rata temperatur pada sisi dingin sebesar $15,06^{\circ}\text{C}$ sementara pada sisi panas yaitu $38,34^{\circ}\text{C}$. Perbedaan arus yang dibutuhkan karena dipengaruhi jumlah modul yang digunakan, dengan terangkai seri maka jumlah hambatan listrik pada rangkaian semakin besar. Rata – rata kalor yang dilepas pada sisi panas sebesar 12,25 watt. Beban panas yang diterima oleh PCM berasal dari beban panas yang melalui dinding *cool box*, beban panas produk, beban panas infiltrasi dan kalor yang dilepaskan oleh sisi panas termoelektrik. Kemampuan PCM dalam mempertahankan temperatur ruangan *cool box* menurun pada saat pengambilan data setelah selama 1 jam 15 menit. Perubahan temperatur pada ruangan *cool box* tidak terlalu signifikan. karena jumlah PCM pada percobaan ini sebanyak 2 L.



Gambar 4.22 Grafik Percobaan 4 Modul Termoelektrik Dengan PCM 2 L

Pada grafik COP 4 modul termoelektrik dengan PCM 2 L menunjukkan trendline nilai kinerja dari termoelektrik yang mengalami penurunan. Pada percobaan ini performa dari termoelektrik merupakan yang memiliki rata – rata COP paling tinggi yaitu 0,79 jika dibandingkan dengan percobaan termoelektrik 2 modul dengan PCM 1 L, percobaan termoelektrik 2 modul dengan PCM 2 L, percobaan termoelektrik 4 modul dengan PCM 1 L, yang masing – masing nilainya berurutan yaitu 0,63, 0,65, 0,73.

4.5 Analisa Ekonomi

Pada rancangan alat ini menggunakan beberapa alat dan komponen pendukung yang diperlukan untuk merancang alat “Sistem Pendingin Hybrid Thermoelectric Cooler dan Phase Change Material (PCM) Pada Cool Box”.

A. Beban Panas Produk

$$\begin{aligned} Q_{\text{produk}} &= m \times c \times \Delta T \\ &= 5 \times 3510 \times (28^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}) \\ &= 369600 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= Q / t \\ &= 369600 / 7200 \\ &= 51,33 \text{ Watt} \end{aligned}$$

B. Beban Panas Melalui Dinding

$$\begin{aligned} Q &= 435,976 \text{ J/jam} \\ q &= Q / t \\ &= 435,976 / 3600 \\ &= 0,121 \text{ Watt} \end{aligned}$$

C. Beban Panas Infiltrasi

$$\begin{aligned} Q_{\text{infiltrasi}} &= 15\% \times 435,976 \text{ J} \\ &= 65,396 \text{ J} \\ q &= Q / t \\ &= 65,396 / 3600 \\ &= 0,0181 \text{ Watt} \end{aligned}$$

D. Kalor Laten

Energi yang diserap pada saat PCM berubah fase
Pada 1 botol @100ml
 $m = \rho \times V$
 $= 0,76 \times 0,1$
 $= 0,076 \text{ kg}$
Didapatkan massa dari tiap botol adalah 0,076 kg

$$\begin{aligned} Q_L &= m \times L / t \\ &= 0,076 \times 150000 / 1200 \\ &= 9,5 \text{ Watt} \end{aligned}$$

E. Kalor Sensibel

$$\begin{aligned} Q_s &= m \times C \times \Delta T / t \\ &= 0,076 \times 2000 \times (24,68 - (-4)) / 6000 \\ &= 0,73 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_L + Q_s \\ &= 9,5 + 0,73 \\ &= 10,23 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Harga PCM

Biaya Pembelian PCM	Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Total Biaya
Phase Change Material RT-4	2	Kg	Rp 134.196	Rp 268.392
Biaya Tambahan Minimal Pemesanan (10 Kg)	1	pcs	Rp 1.299.328	Rp 1.299.328
Biaya Bank	1	pcs	Rp 314.681	Rp 314.681
Biaya Pembungkus Produk	1	pcs	Rp 162.416	Rp 162.416
Biaya Shipping (Cargo Udara)	1	pcs	Rp 972.466	Rp 972.466
Total Biaya				Rp 3.017.283

Pada pembelian PCM 2 Kg didapatkan total harga yaitu Rp 3.017.283. Maka didapatkan untuk harga per botol @100ml PCM sebesar Rp 114.657. Volume botol yang digunakan 0,132 L

F. Kalor yang Diserap Termoelektrik

Pada hasil percobaan kalor yang di serap oleh 4 modul termoelektrik dengan PCM 1 L yaitu 9,59 Watt. Untuk kalor yang dilepas sebesar 10,65 Watt.

Sehingga $Q_c = 9,59 / 4 = 2,4$ Watt

Qpeltier untuk 1 modul adalah 2,4 Watt

Untuk harga 1 modul peltier sebesar Rp 45.000.

Ukuran peltier P x L x T adalah (4 x 4 x 0,38)cm

Sehingga volume untuk 1 modul adalah

$$V = P \times L \times T$$

$$= 4 \times 4 \times 0,38$$

$$= 6,08 \text{ cm}^3$$

G. Didapatkan persamaan permodelan untuk sistem pendingin

$$0,132x + 0,00608y + 0,16 \leq 1$$

$$10,23x + 2,3975y \geq 62,1191$$

$$f(x,y) = 114657x + 45000y$$

$$f(x,y) = (6,1), (6,2), (6,3), (6,4)$$

Tabel 4.3 Harga PCM dan Termoelektrik

No	Jumlah Item		Satuan		Harga Satuan		Total Harga
	PCM	TEC	PCM	TEC	PCM	TEC	
1	6	1	btl	pcs	Rp 114.657	Rp 45.000	Rp 732.941
2	6	2	btl	pcs	Rp 114.657	Rp 45.000	Rp 777.941
3	6	3	btl	pcs	Rp 114.657	Rp 45.000	Rp 822.941
4	6	4	btl	pcs	Rp 114.657	Rp 45.000	Rp 867.941

H. Biaya Listrik Untuk Proses Freezing PCM dan *Cool Box*

1. Perhitungan Laju Aliran Massa *Refrigerant*

Data Sheet Refrigerant

Type	: R 404 A
T (inlet compressor)	: 0 °C
T (Outlet compressor)	: 63 °C
Low Pressure	: 0,6 bar 0,06 Mpa
High Pressure	: 16,2 bar 1,62 Mpa
T Subcooling	: 20 °C
Cooling Capacity	: 1,345 kJ/s
T Freezer Room	: -18 °C

Dengan nilai *enthalpy* adalah sebagai berikut:

$$h1 : 370 \text{ kJ/Kg}$$

$$h2 : 415 \text{ kJ/Kg}$$

$$h3 : 180 \text{ kJ/Kg}$$

$$h4 : 180 \text{ kJ/Kg}$$

Setelah didapatkan besarnya nilai *enthalpy* maka dapat diperoleh nilai laju aliran massa *refrigerant* R404A dengan cara:

$$Q_L = \dot{m}_{\text{ref}} (h1 - h4)$$

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{Q_L}{(h1 - h4)}$$

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{1,345}{(370 - 180)}$$

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{1,345 \text{ kJ/s}}{190 \text{ kJ/Kg}}$$

$$\dot{m}_{\text{ref}} = 0,0070789 \text{ Kg/s}$$

2. Perhitungan Kebutuhan Energi Kompresor

Nilai laju aliran massa *refrigerant* yang diperoleh digunakan untuk mendapatkan besarnya energi yang dibutuhkan oleh sistem *refrigerasi*. Maka kebutuhan energi kompresor didapatkan dengan cara:

$$W_{\text{comp}} = \dot{m}_{\text{ref}} (h2 - h1)$$

$$W_{\text{comp}} = 0,0070789 \text{ Kg/s} \times (415 \text{ kJ/Kg} - 370 \text{ kJ/Kg})$$

$$W_{\text{comp}} = 0,31855 \text{ kJ/s}$$

$$W_{\text{comp}} = 1146,789 \text{ kJ/h}$$

$$W_{\text{comp}} = 0,3211 \text{ kW}$$

3. Perhitungan Biaya Listrik

Biaya listrik yang diperlukan untuk proses *freezing* PCM berdasarkan percobaan selama 3 jam. Dengan asumsi Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik bulan Juli sampai September 2017 yang ditetapkan oleh PLN sebesar Rp 1467,28/kWh.

- Waktu proses *freezing* PCM selama 3 jam

$$\begin{aligned}\text{Jumlah kWh} &= W_{\text{comp}} \times t_{\text{freezing}} \\ &= 0,3211 \text{ kW} \times 3 \text{ jam} \\ &= 0,9633 \text{ kWh}\end{aligned}$$
- Biaya yang harus dikeluarkan untuk proses *freezing* PCM selama 3 jam

$$\begin{aligned}\text{Biaya listrik} &= \text{Jumlah kWh} \times \text{Tarif Dasar Listrik} \\ &= 0,9633 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1467,28 \text{ kWh} \\ &= \text{Rp } 1.413,44\end{aligned}$$
- Biaya per hari dengan asumsi proses *freezing* PCM sebanyak 2 kali dan sekali proses selama 3 jam

$$\begin{aligned}\text{Biaya / hari} &= 2 \times \text{Jumlah kWh} \times \text{Tarif Dasar Listrik} \\ &= 2 \times 0,9633 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1467,28 \text{ kWh} \\ &= \text{Rp } 2.826,86\end{aligned}$$
- Biaya per bulan untuk proses *freezing* PCM

$$\begin{aligned}\text{Biaya / bulan} &= \text{Biaya / hari} \times 30 \\ &= \text{Rp } 2826,86 \times 30 \\ &= \text{Rp } 84.805,8\end{aligned}$$
- Biaya per tahun untuk proses *freezing* PCM

$$\begin{aligned}\text{Biaya / tahun} &= \text{Biaya / bulan} \times 12 \\ &= \text{Rp } 84805,8 \times 12 \\ &= \text{Rp } 1.017.669,6\end{aligned}$$
- Biaya listrik per tahun untuk *cool box*

Item	Daya (kW)	kWh 4 Jam Pengoperasian	Biaya per hari	Biaya per bulan	Biaya per tahun	Total Biaya
Termoelektrik	0,0132	0,0526	Rp 77,24	Rp 2.317,13	Rp 27.805,54	Rp 36.679,65
Fan DC	0,0042	0,0168	Rp 24,65	Rp 739,51	Rp 8.874,11	

- Total biaya listrik per tahun untuk proses *freezing* PCM dan *cool box*

$$\begin{aligned}\text{Biaya listrik total} &= \text{Rp } 1.017.669,6 + \text{Rp } 36.679,65 \\ &= \text{Rp } 1.054.349,25\end{aligned}$$

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan membuat prototipe sistem pendingin *thermoelectric cooler* yang di *hybrid* dengan *phase change material* (PCM). Berdasarkan hasil percobaan, analisa, dan perhitungan yang telah dilakukan pada, maka didapatkan kesimpulan bahwa

1. Pada prototipe sistem pendingin *thermoelectric cooler* yang di *hybrid* dengan *phase change material* (PCM) rata – rata temperatur udara ruangan cool box terendah yaitu 6,86 °C. Pada variasi percobaan 2 modul termoelektrik dan PCM 2 L dengan durasi pengambilan data selama 2 jam.
2. Rata- rata nilai kinerja atau COP dari prototipe sistem pendingin *thermoelectric cooler* yang di *hybrid* dengan *phase change material* (PCM) tertinggi pada variasi percobaan 4 modul termoelektrik dan PCM 2 L dengan durasi pengambilan data selama 2 jam yaitu bernilai 0,79.
3. Penambahan variasi jumlah modul termoelektrik akan mempengaruhi nilai arus yang dibutuhkan oleh termoelektrik. Rata – rata nilai arus pada setiap percobaan dengan variasi modul berjumlah 2 tanpa PCM, percobaan 2 termoelektrik dengan PCM 1 L, percobaan 2 termoelektrik dengan PCM 2 L secara berurutan yaitu 1,28 A, 1,34 A, 1,42 A. Sementara rata – rata nilai arus pada setiap percobaan dengan variasi modul berjumlah 4 tanpa PCM, percobaan 4 termoelektrik dengan PCM 1 L, percobaan 4 termoelektrik dengan PCM 2 L secara berurutan yaitu 0,75 A, 0,87 A, 0,91 A.
4. Dari hasil perhitungan didapatkan proses *freezing Phase Change Material* (PCM) untuk 1 hari selama 3 jam sebanyak 2 kali proses *freezing* dalam setahun membutuhkan biaya sebesar Rp 1.017.669,6. Sementara biaya untuk pengoperasian *cool box* selama 2 jam untuk 1 hari sebanyak 2 kali membutuhkan biaya sebesar Rp 36.679,65 selama 1 tahun. Total biaya listrik selama 1 tahun sebesar Rp 1.054.349,25.

5.2 Saran

Demi hasil yang lebih baik untuk penelitian selanjutnya, berikut saran – saran untuk penelitian berikutnya :

1. Pada perancangan prototipe termoelektrik dapat digunakan pengatur arus. Sehingga termoelektrik tidak cepat *overheat* / rusak serta dapat diketahui kondisi optimum dari termoelektrik.
2. Penambahan luasan pada sisi panas pada termoelektrik dengan cara menambahkan heat sink yang lebih optimum.
3. Penggunaan material cool box dapat diganti dengan jenis material lain yang memiliki konduktivitas termal di bawah styrofoam.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Azridjal Aziz, J. S. (2015). *Aplikasi Modul Pendingin Termoelektrik Sebagai Media Pendingin Kotak Minuman*. Diambil kembali dari Researchgate.
- Holman, J. (1997). *Perpindahan Kalor* (6 ed.). Jakarta: Erlangga.
- Ilyas. (1983). *Teknologi Hasil Refrigerasi Hasil Perikanan*. Jakarta: CV Paripurna.
- Nandy Putra, R. A. (2009). Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hybrid. 3, 53-58.
- Poetro, J. E. (2010). *Studi Teknologi Termoelektrik Sebagai Upaya Konversi Energi pada BTS (Base Transceiver Station)*. Jakarta.
- Rahman, M. F. (2016). *Analisa Penggunaan Termoelektrik Sebagai Sumber Arus Listrik Pada Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) di Pelat Lambung Kapal*. Surabaya.
- Shamseldin A. Mohamed, F. A.-S.-A. (2017). A Review on Current Status and Challenges of Inorganic Phase Change Materials for Thermal Energy Storage Systems. *ELSEVIER*, 1072-1089.
- Statistik, B. P. (2014). *Produksi Perikanan Menurut Subsektor (ribu ton), 1999-2014*. (Badan Pusat Statistik) Dipetik 12 12, 2016, dari www.bps.go.id.
- Suwit Jugsujinda, A. V.-u. (2011). Analyzing of Thermoelectric Refrigerator Performance. *Procedia Engineering* , 154-159.
- Wiwik, P. (2011). Jenis - jenis Bahan Berubah Fasa dan Aplikasinya.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

Spesifikasi TEC1-12706

Thermoelectric Module

High Performance and Highly Reliable Solution
for Cooling and Heating Applications

Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12706

Description

The 127 couples, 40 mm × 40 mm size single stage module is made of selected high performance ingot to achieve superior cooling performance and greater ΔT up to 70 °C, designed for superior cooling and heating up to 100 °C requirement. If higher operation or processing temperature is required, please specify, we can design and manufacture the custom made module according to your special requirements.

Features

- High effective cooling and efficiency.
- No moving parts, no noise, and solid-state
- Compact structure, small in size, light in weight
- Environmental friendly, RoHS compliant
- Precise temperature control
- Exceptionally reliable in quality, high performance

Application

- Food and beverage service refrigerator
- Portable cooler box for cars
- Liquid cooling
- Temperature stabilizer
- Photonic and medical systems

Performance Specification Sheet

T_H (°C)	27	50	Hot side temperature at environment: dry air, N_2
ΔT_{max} (°C)	70	79	Temperature Difference between cold and hot side of the module when cooling capacity is zero at cold side
U_{max} (Voltage)	16.0	17.2	Voltage applied to the module at ΔT_{max}
I_{max} (amps)	6.1	6.1	DC current through the modules at ΔT_{max}
$Q_{c,max}$ (Watts)	61.4	66.7	Cooling capacity at cold side of the module under $\Delta T=0$ °C
AC resistance(ohms)	2.0	2.2	The module resistance is tested under AC
Tolerance (%)	± 10		For thermal and electricity parameters

Geometric Characteristics Dimensions in millimeters



Ordering Option

Suffix	Thickness (mm)	Flatness/Parallelism (mm)	Lead wire length(mm) Standard/Optional length
TF	0.3.8±0.1	0.0.035/0.035	125±3/Specify
TF	1.3.8±0.05	1.0.025/0.025	125±3/Specify
TF	2.3.8±0.03	2.0.015/0.015	125±3/Specify

Fig. TF01: Thickness 3.8 ± 0.1 (mm) and Flatness 0.025 / 0.025 (mm)

Sealing Option

A. Solder:

1. T100: BiSn (T_{max} = 138 °C)

B. Sealant:

1. NS: No sealing (Standard)
2. SS: Silicone sealant
3. EPS: Epoxy sealant
4. Customer specify sealing other than above

C. Ceramics:

1. Alumina (Al_2O_3 , white 99%)
 2. Aluminum Nitride (AlN)
- ##### D. Ceramics Surface Options:
1. Blank ceramics (not metallized)
 2. Metallized (Au plating)

Naming for the Module

TEC1-12706 - X - X - X - X



TEC1-12706-T100-NS-TF01-AJO

T100: BiSn (T_{max}=138°C)

NS: No sealing

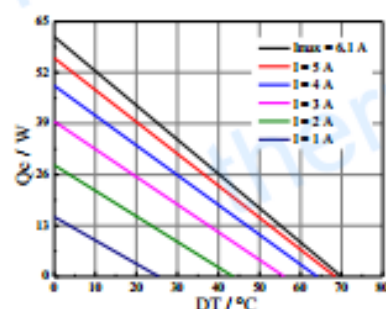
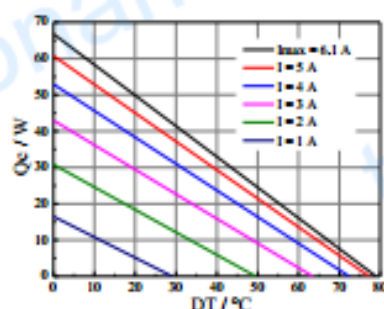
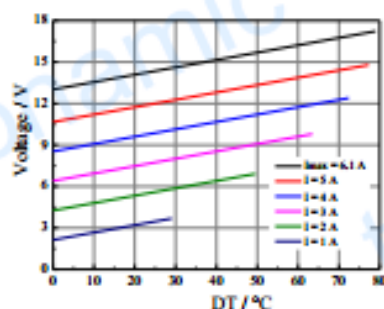
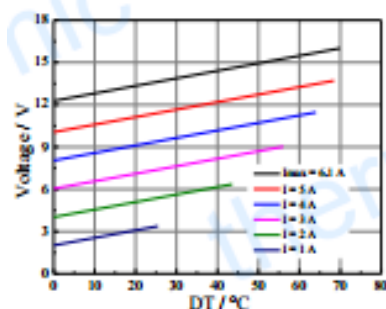
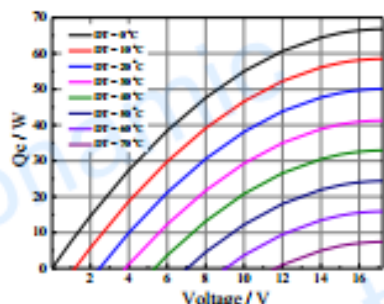
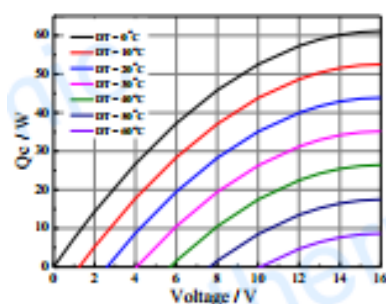
TF01: Thickness 3.8 ± 0.1 (mm) and Flatness/Parallelism 0.025 / 0.025 (mm)

AJO: Alumina white 99%

Creative technology with fine manufacturing processes provides you the reliable and quality products

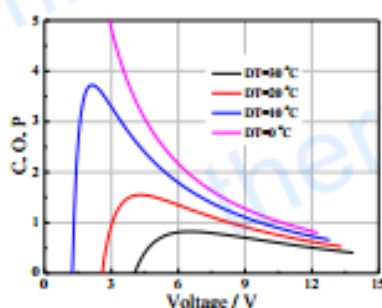
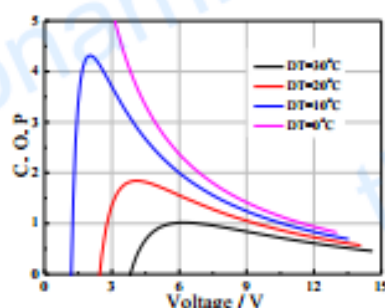
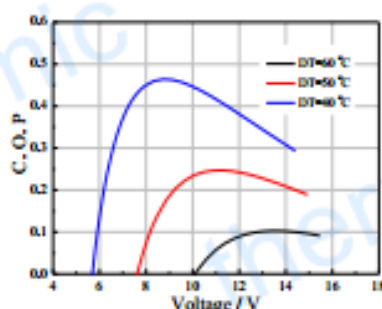
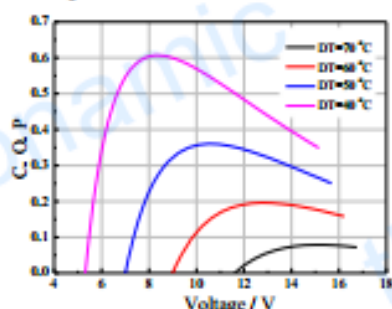
Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12706

Performance Curves at $T_h=27^\circ\text{C}$ Performance Curves at $T_h=50^\circ\text{C}$ Standard Performance Graph $Q_c=f(DT)$ Standard Performance Graph $V=f(DT)$ Standard Performance Graph $Q_c=f(V)$

Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12706

Performance Curves at $T_h=27\text{ }^\circ\text{C}$ Performance Curves at $T_h=50\text{ }^\circ\text{C}$ Standard Performance Graph COP = f(V) of ΔT ranged from 0 to $30\text{ }^\circ\text{C}$ Standard Performance Graph COP = f(V) of ΔT ranged from 40 to $60/70\text{ }^\circ\text{C}$ 

Remark: The coefficient of performance (COP) is the cooling power Q_c / input power ($V \times I$).

Operation Cautions

- Cold side of the module sticked on the object being cooled
- Hot side of the module mounted on a heat radiator
- Operation or storage module below $100\text{ }^\circ\text{C}$
- Operation below I_{max} or V_{max}
- Work under DC

Spesifikasi Fan DC

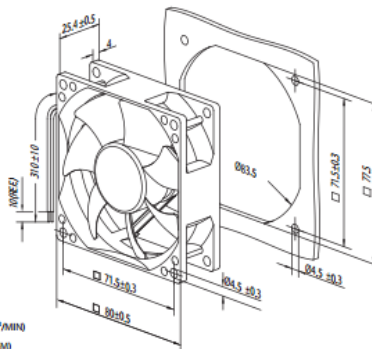
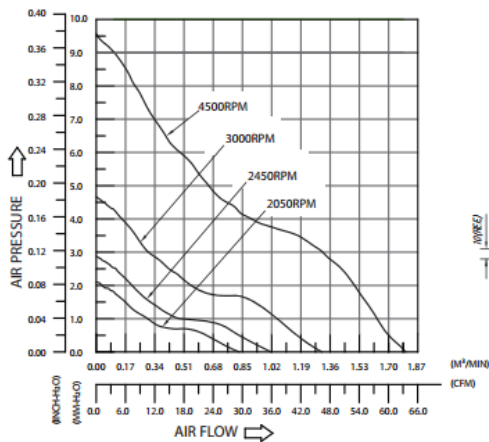


DC AXIAL FANS

DS SERIES
80×80×25 mm 12v,24v

- * Material: Impeller & Frame: Plastic (UL 94V-0)
- * Lead Wires: UL 1007 AWG #24 or Equivalent
- * Impeller: 7 Blades
- * Rotational direction CCW view from front face
- * Weight: 68g (2.4 OZ)

MODEL		Bearing Type	Rated Voltage	Operating Voltage Range		Rated Current	Rated Input Power	Speed	Maximum Air Flow		Maximum Air Pressure		Acoustic Noise	Life expectancy Leads/°C
PART NO.	SIGNAL	B.T.S.R	VDC	VDC	Amp	Watt	R.P.M.	m³/min	CFM	mmH₂O	IN H₂O	dB-A	hours	
DS08025_12L	-FG/RD	B I R	12	7.0 to 13.2	0.15	1.80	2050	0.831	29.34	2.10	0.083	24.9	70000	
DS08025_12M	-FG/RD	B I R	12	7.0 to 13.2	0.23	2.76	2450	1.016	35.89	2.88	0.113	29.6	70000	
DS08025_12H	-FG/RD	B I R	12	7.0 to 13.2	0.30	3.60	3000	1.246	44.02	4.43	0.174	34.5	70000	
* DS08025_12U	-FG/RD	B I R	12	7.0 to 13.2	0.70	8.40	4500	1.824	64.44	9.73	0.383	46.0	70000	
DS08025_24H	-FG/RD	B	24	10.0 to 26.4	7.20	7.20	3000	1.246	44.02	4.43	0.174	34.5	70000	



Harga Tarif Dasar Listrik

Company profile

Information

DC axial fans

DC blower fans

AC fans

**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)**

BULAN JULI - SEPTEMBER 2017

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**))	Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = $1.035,78$ kVArh = $1.114,74$ ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**))	Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = $1.035,78$ kVArh = $1.114,74$ ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = $996,74$ kVArh = $996,74$ ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**))	Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = $1.035,78$ kVArh = $1.114,74$ ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
13.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.

**) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.

Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.

Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

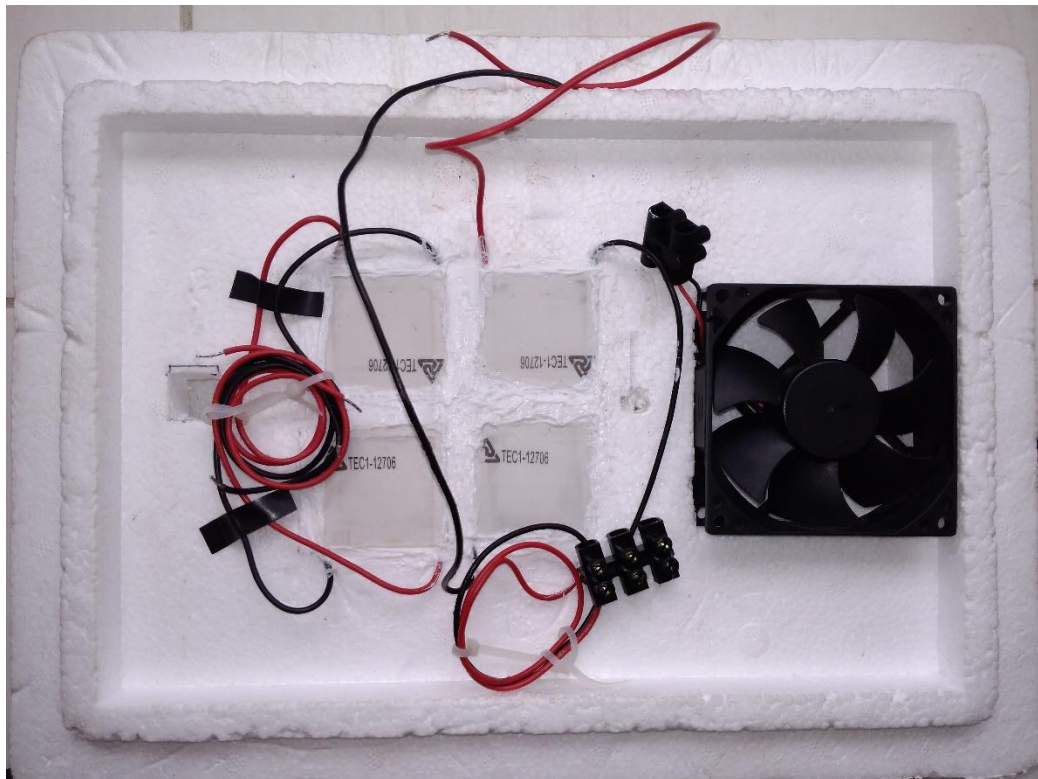
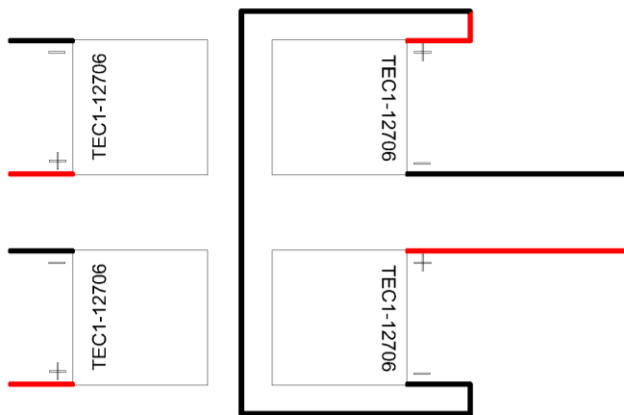
****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

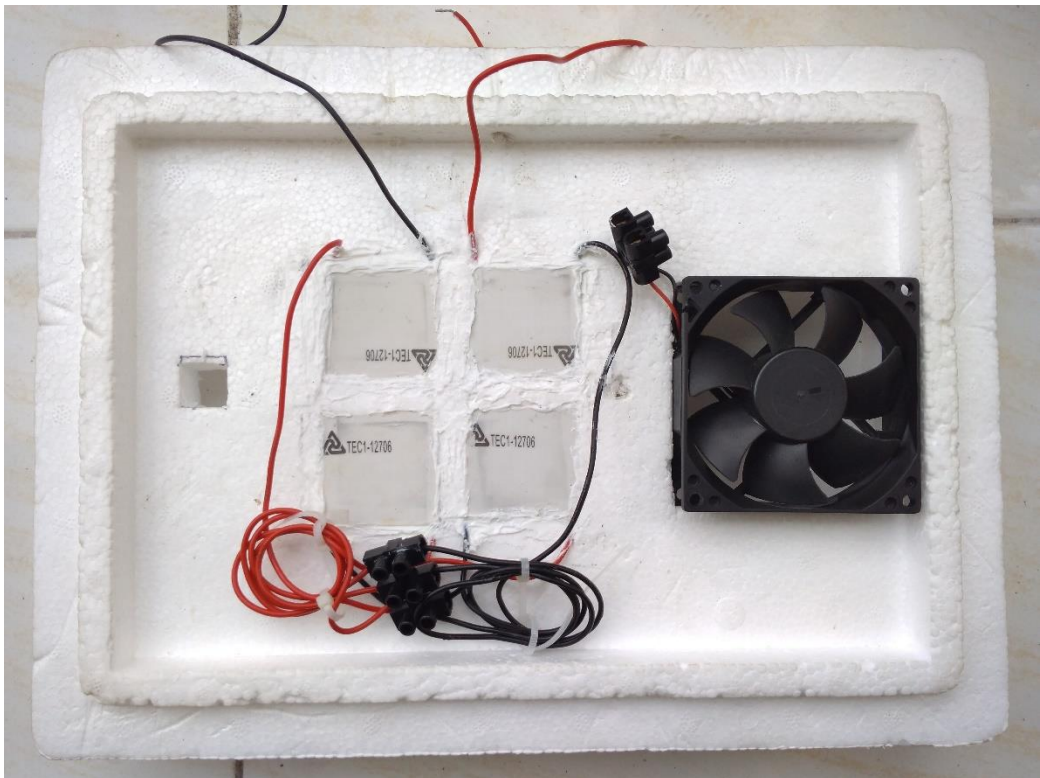
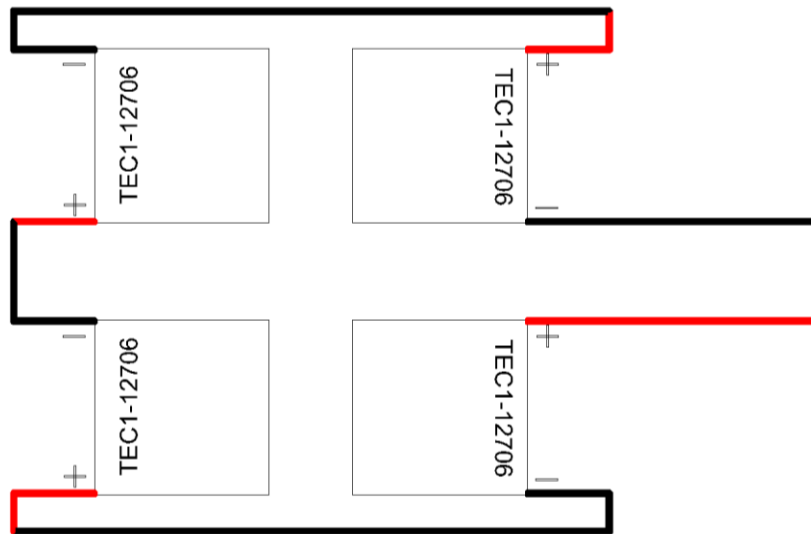
WBP : Waktu Beban Puncak.

LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

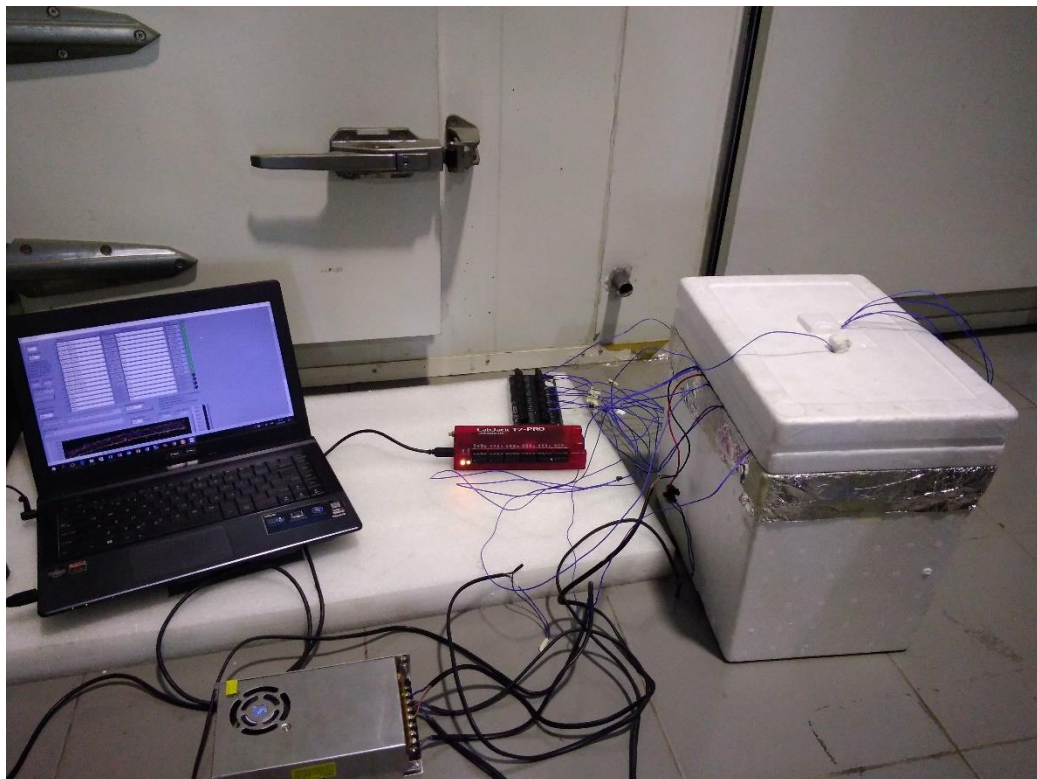
Gambar Rangkaian Seri 2 Termoelektrik



Gambar Rangkaian Seri 4 Termoelektrik



Gambar Pengambilan Data



Percobaan 2 Modul Tanpa PCM

Waktu (Menit)	Tu (°C)	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (K)	I (A)	Rm (Ohm)	Sm (V/K)	Km (W/K)	Z (1/K)	Qh (W)	Qc (W)	Qte (W)	COP
0	24,88	17,89	32,25	287,36	1,70	0,15	0,05	100,49	0,00018	24,56	22,84	26,05	0,88
5	38,59	64,93	98,88	306,95	1,30	0,46	0,04	36,03	0,00011	12,67	9,99	17,94	0,56
10	46,84	73,79	107,35	306,56	1,30	0,51	0,04	32,38	0,00011	11,76	9,07	17,62	0,51
15	51,02	78,48	112,21	306,73	1,28	0,53	0,04	30,85	0,00010	10,98	8,31	17,18	0,48
20	53,63	80,35	114,07	306,71	1,27	0,54	0,04	30,28	0,00010	10,63	7,98	16,98	0,47
25	54,76	81,86	115,34	306,48	1,26	0,55	0,04	29,79	0,00010	10,31	7,70	16,79	0,46
30	56,88	82,25	115,62	306,36	1,25	0,56	0,04	29,66	0,00010	10,10	7,52	16,63	0,45
35	57,15	82,97	115,72	305,75	1,24	0,56	0,04	29,35	0,00010	9,85	7,32	16,47	0,44
40	58,03	82,96	116,11	306,16	1,26	0,56	0,04	29,43	0,00010	10,20	7,59	16,75	0,45
45	57,17	83,13	116,06	305,93	1,26	0,56	0,04	29,34	0,00010	10,18	7,58	16,74	0,45
50	57,94	82,71	115,27	305,56	1,26	0,56	0,04	29,39	0,00010	10,21	7,63	16,75	0,46
55	57,54	84,44	115,67	304,23	1,26	0,57	0,04	28,70	0,00010	10,01	7,49	16,68	0,45
60	57,74	83,77	115,56	304,79	1,27	0,57	0,04	28,97	0,00010	10,25	7,68	16,85	0,46
65	58,61	82,69	115,05	305,37	1,25	0,56	0,04	29,37	0,00010	10,04	7,50	16,61	0,45
70	57,68	83,03	114,77	304,74	1,25	0,56	0,04	29,16	0,00010	9,99	7,47	16,59	0,45
75	57,88	83,03	114,43	304,41	1,25	0,56	0,04	29,11	0,00010	9,98	7,48	16,59	0,45
80	58,41	82,57	114,92	305,35	1,26	0,56	0,04	29,40	0,00010	10,22	7,65	16,76	0,46
85	57,62	83,08	114,18	304,10	1,27	0,56	0,04	29,04	0,00010	10,30	7,76	16,87	0,46
90	58,71	82,54	114,04	304,50	1,25	0,56	0,04	29,26	0,00010	10,03	7,53	16,61	0,45
95	57,84	82,73	113,99	304,27	1,26	0,56	0,04	29,17	0,00010	10,17	7,65	16,74	0,46

100	58,42	83,38	114,05	303,66	1,26	0,57	0,04	28,88	0,00010	10,10	7,60	16,71	0,45
105	57,84	82,73	113,72	303,98	1,25	0,56	0,04	29,12	0,00010	10,00	7,52	16,60	0,45
110	59,31	82,63	113,46	303,83	1,26	0,56	0,04	29,12	0,00010	10,17	7,67	16,74	0,46
115	57,86	82,89	113,78	303,89	1,25	0,56	0,04	29,06	0,00010	9,98	7,51	16,59	0,45
120	58,45	82,79	113,38	303,58	1,26	0,56	0,04	29,03	0,00011	10,15	7,66	16,73	0,46
Rata-rata	54,83	78,94	110,39	304,45	1,28	0,54	0,04	32,58	0,00011	10,91	8,39	17,18	0,48

Percobaan 4 Modul Tanpa PCM

Waktu (Menit)	Tu (°C)	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (K)	I (A)	Rm (Ohm)	Sm (V/K)	Km (W/K)	Z (1/K)	Qh (W)	Qc (W)	Qte (W)	COP
0	24,71	25,48	25,33	272,85	0,86	0,22	0,05	65,45	0,00020	9,67	9,52	12,75	0,75
5	34,56	40,61	63,24	295,63	0,80	0,32	0,05	50,16	0,00014	7,01	5,94	11,46	0,52
10	41,47	48,05	70,74	295,70	0,75	0,37	0,05	43,35	0,00014	5,28	4,28	10,53	0,41
15	44,01	52,17	74,49	295,32	0,74	0,39	0,05	40,31	0,00013	4,62	3,65	10,28	0,35
20	45,54	54,18	76,78	295,59	0,74	0,41	0,05	39,10	0,00013	4,39	3,40	10,23	0,33
25	46,88	55,45	78,34	295,89	0,73	0,41	0,05	38,42	0,00013	4,09	3,11	10,06	0,31
30	47,66	55,23	78,56	296,33	0,74	0,41	0,05	38,65	0,00013	4,29	3,27	10,21	0,32
35	48,23	55,68	78,96	296,29	0,74	0,41	0,05	38,38	0,00013	4,23	3,22	10,19	0,32
40	47,62	56,33	78,90	295,56	0,77	0,42	0,05	37,83	0,00013	4,63	3,59	10,60	0,34
45	47,98	56,46	79,02	295,56	0,76	0,42	0,05	37,76	0,00013	4,45	3,43	10,45	0,33
50	46,66	56,73	78,96	295,23	0,73	0,42	0,05	37,53	0,00013	3,93	2,96	10,02	0,30
55	47,64	56,50	79,13	295,62	0,73	0,42	0,05	37,75	0,00013	3,96	2,99	10,03	0,30
60	48,35	56,50	79,03	295,52	0,73	0,42	0,05	37,73	0,00013	3,96	2,99	10,03	0,30
65	47,88	56,71	79,51	295,80	0,73	0,42	0,05	37,68	0,00013	3,94	2,96	10,03	0,30
70	47,52	56,65	79,13	295,48	0,73	0,42	0,05	37,64	0,00013	3,94	2,97	10,03	0,30
75	47,58	55,82	78,68	295,85	0,73	0,42	0,05	38,19	0,00013	4,04	3,06	10,05	0,30
80	47,98	55,28	78,56	296,28	0,74	0,41	0,05	38,61	0,00013	4,28	3,27	10,20	0,32
85	48,06	56,51	78,94	295,43	0,74	0,42	0,05	37,70	0,00013	4,12	3,13	10,17	0,31
90	46,89	55,77	79,00	296,24	0,74	0,42	0,05	38,32	0,00013	4,22	3,21	10,19	0,32
95	47,52	55,76	79,30	296,54	0,76	0,42	0,05	38,39	0,00013	4,56	3,50	10,48	0,33

100	48,20	56,19	78,95	295,75	0,74	0,42	0,05	37,96	0,00013	4,16	3,17	10,18	0,31
105	47,64	55,89	79,17	296,28	0,73	0,42	0,05	38,26	0,00013	4,05	3,05	10,05	0,30
110	48,10	56,37	78,93	295,55	0,73	0,42	0,05	37,81	0,00013	3,97	3,00	10,03	0,30
115	47,74	55,26	78,72	296,46	0,74	0,41	0,05	38,67	0,00013	4,29	3,27	10,21	0,32
120	47,64	55,99	78,65	295,65	0,74	0,42	0,05	38,05	0,00013	4,18	3,19	10,18	0,31
Rata-rata	45,76	53,66	75,56	294,90	0,75	0,40	0,05	39,99	0,00013	4,57	3,61	10,34	0,34

Percobaan 2 Modul Termoelekterik Dengan PCM 1 L

Waktu (Menit)	Tu (°C)	Tpcm (°C)	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (K)	I (A)	Rm (Ohm)	Sm (V/K)	Km (W/K)	Z (1/K)	Qh (W)	Qc (W)	Qte (W)	COP
0	1,85	-12,89	17,41	61,68	317,27	1,67	0,14	0,05	124,98	0,00013	24,37	20,46	25,71	0,80
5	1,54	-9,97	32,77	88,94	329,17	1,38	0,24	0,04	74,51	0,00011	17,89	14,01	20,53	0,68
10	4,18	-7,93	33,70	92,26	331,56	1,36	0,24	0,04	73,64	0,00011	17,48	13,54	20,20	0,67
15	8,42	-6,89	35,80	90,49	327,70	1,38	0,26	0,04	68,18	0,00011	17,52	13,71	20,40	0,67
20	6,62	-6,15	36,70	93,09	329,39	1,36	0,26	0,04	67,33	0,00011	17,11	13,27	20,06	0,66
25	5,92	-6,29	37,63	95,04	330,40	1,43	0,27	0,04	66,21	0,00011	18,16	14,05	21,09	0,67
30	7,01	-2,50	38,98	93,97	327,99	1,33	0,28	0,04	63,28	0,00011	16,34	12,66	19,51	0,65
35	8,81	-1,56	40,38	95,25	327,87	1,35	0,29	0,04	61,28	0,00011	16,51	12,77	19,76	0,65
40	12,41	-0,44	39,91	95,34	328,44	1,35	0,28	0,04	62,12	0,00011	16,57	12,80	19,78	0,65
45	10,78	-0,29	40,17	97,35	330,18	1,32	0,28	0,04	62,38	0,00011	16,07	12,32	19,32	0,64
50	11,01	-0,60	42,09	95,99	326,90	1,32	0,30	0,04	58,72	0,00011	15,81	12,21	19,23	0,63
55	13,68	-3,26	41,60	96,87	328,27	1,33	0,30	0,04	59,81	0,00011	16,05	12,35	19,41	0,64
60	9,95	-0,16	41,63	97,71	329,08	1,34	0,29	0,04	60,05	0,00011	16,22	12,45	19,56	0,64
65	13,32	0,95	42,18	97,95	328,77	1,31	0,30	0,04	59,25	0,00011	15,67	12,00	19,09	0,63
70	18,46	1,11	43,88	97,51	326,64	1,34	0,31	0,04	56,52	0,00011	15,94	12,28	19,46	0,63
75	15,75	2,42	43,92	99,14	328,22	1,31	0,31	0,04	56,98	0,00010	15,47	11,82	19,02	0,62
80	17,26	5,27	44,75	102,08	330,34	1,31	0,31	0,04	56,74	0,00010	15,41	11,67	19,00	0,61
85	20,49	9,76	46,42	101,99	328,57	1,31	0,32	0,04	54,40	0,00010	15,20	11,53	18,92	0,61
90	22,55	14,05	49,28	104,31	328,03	1,30	0,34	0,04	51,47	0,00010	14,72	11,10	18,66	0,59
95	25,25	19,64	50,64	105,43	327,80	1,29	0,35	0,04	50,20	0,00010	14,40	10,83	18,46	0,59

100	27,10	19,82	53,09	106,30	326,21	1,36	0,37	0,04	47,76	0,00010	15,27	11,54	19,39	0,59
105	29,88	23,25	55,61	108,13	325,53	1,27	0,38	0,04	45,72	0,00010	13,51	10,09	17,97	0,56
110	31,45	26,04	55,63	109,63	327,00	1,25	0,38	0,04	46,09	0,00010	13,20	9,78	17,69	0,55
115	30,66	28,14	57,45	111,47	327,02	1,22	0,39	0,04	44,84	0,00010	12,52	9,19	17,19	0,53
120	34,73	27,62	59,36	110,37	324,01	1,27	0,41	0,04	42,88	0,00010	13,09	9,73	17,83	0,55
Rata-rata	15,56	4,77	43,24	97,93	327,69	1,34	0,30	0,04	60,61	0,00011	16,02	12,33	19,49	0,63

Percobaan 2 Modul Termoelekterik Dengan PCM 2 L

Waktu (Menit)	Tu (°C)	Tpcm (°C)	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (K)	I (A)	Rm (Ohm)	Sm (V/K)	Km (W/K)	Z (1/K)	Qh (W)	Qc (W)	Qte (W)	COP
0	4,93	-15,52	20,43	20,28	272,84	1,63	0,18	0,05	80,25	0,00020	22,92	22,45	24,75	0,91
5	3,10	-12,46	42,90	87,43	317,52	1,49	0,31	0,04	54,66	0,00012	18,38	14,74	21,70	0,68
10	-1,34	-11,97	44,69	89,47	317,79	1,47	0,32	0,04	52,82	0,00011	17,85	14,25	21,32	0,67
15	1,22	-9,77	45,89	91,26	318,37	1,43	0,33	0,04	51,79	0,00011	17,07	13,54	20,67	0,66
20	-1,02	-10,71	47,34	90,39	316,05	1,44	0,34	0,04	49,71	0,00011	17,04	13,60	20,75	0,66
25	3,83	-6,61	47,65	92,24	317,59	1,42	0,34	0,04	49,89	0,00011	16,70	13,23	20,45	0,65
30	4,92	-6,27	47,32	95,68	321,36	1,44	0,34	0,04	51,31	0,00011	17,13	13,41	20,78	0,65
35	4,41	-6,11	50,51	93,68	316,16	1,44	0,36	0,04	47,03	0,00011	16,69	13,23	20,62	0,64
40	2,20	-4,98	50,20	92,79	315,59	1,43	0,36	0,04	47,13	0,00011	16,55	13,15	20,48	0,64
45	6,36	-3,35	50,15	92,43	315,27	1,40	0,36	0,04	47,07	0,00011	16,06	12,76	20,03	0,64
50	8,02	-5,19	48,52	92,77	317,24	1,40	0,35	0,04	49,00	0,00011	16,27	12,88	20,11	0,64
55	7,64	-2,61	47,70	92,79	318,09	1,39	0,34	0,04	49,98	0,00011	16,21	12,80	20,00	0,64
60	7,02	-4,13	51,16	93,46	315,31	1,36	0,37	0,04	46,29	0,00011	15,29	12,10	19,40	0,62
65	4,42	-3,11	49,77	95,20	318,43	1,36	0,35	0,04	48,27	0,00011	15,49	12,15	19,47	0,62
70	14,55	-3,87	50,01	93,80	316,78	1,39	0,36	0,04	47,61	0,00011	15,93	12,59	19,90	0,63
75	8,41	-7,15	51,24	94,54	316,30	1,39	0,37	0,04	46,49	0,00011	15,79	12,46	19,85	0,63
80	11,11	-1,54	50,96	94,24	316,28	1,43	0,36	0,04	46,70	0,00011	16,48	13,04	20,45	0,64
85	9,98	-0,44	51,50	94,67	316,17	1,41	0,37	0,04	46,25	0,00011	16,09	12,71	20,13	0,63
90	10,14	-0,55	51,86	95,47	316,61	1,41	0,37	0,04	46,09	0,00011	16,06	12,65	20,12	0,63
95	6,85	-3,24	50,78	95,30	317,52	1,40	0,36	0,04	47,19	0,00011	16,03	12,61	20,02	0,63

100	13,91	-0,15	51,76	94,84	316,08	1,47	0,37	0,04	46,03	0,00011	17,05	13,50	21,01	0,64
105	7,64	-2,50	52,08	96,10	317,02	1,37	0,37	0,04	46,04	0,00011	15,38	12,07	19,52	0,62
110	10,43	-0,31	52,14	96,41	317,27	1,37	0,37	0,04	46,06	0,00011	15,38	12,06	19,52	0,62
115	11,36	0,58	53,74	96,71	315,97	1,36	0,38	0,04	44,54	0,00011	15,02	11,78	19,30	0,61
120	11,47	0,98	54,06	96,94	315,88	1,36	0,38	0,04	44,29	0,00011	14,98	11,75	19,29	0,61
Rata-rata	6,86	-4,84	48,57	90,76	315,18	1,42	0,35	0,04	49,30	0,00012	16,55	13,26	20,38	0,65

Percobaan 4 Modul Termoelekterik Dengan PCM 1 L

Waktu (Menit)	Tu (°C)	Tpcm (°C)	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (K)	I (A)	Rm (Ohm)	Sm (V/K)	Km (W/K)	Z (1/K)	Qh (W)	Qc (W)	Qte (W)	COP
0	6,80	-12,58	7,93	14,34	279,41	0,94	0,07	0,06	207,52	0,00021	13,73	13,33	14,69	0,91
5	2,53	-8,84	13,49	34,20	293,71	0,92	0,12	0,05	137,09	0,00017	12,63	11,54	14,17	0,81
10	2,69	-7,29	15,70	36,45	293,75	0,94	0,13	0,05	118,63	0,00017	12,62	11,50	14,39	0,80
15	4,33	-6,25	16,51	37,00	293,49	0,99	0,14	0,05	112,90	0,00017	13,31	12,13	15,13	0,80
20	5,48	-4,81	16,72	39,12	295,40	0,90	0,14	0,05	113,00	0,00017	11,84	10,70	13,74	0,78
25	6,45	-3,36	17,64	39,15	294,50	0,83	0,15	0,05	106,77	0,00017	10,57	9,56	12,63	0,76
30	7,38	-2,94	17,99	39,94	294,95	0,82	0,15	0,05	105,16	0,00016	10,37	9,34	12,47	0,75
35	6,63	-2,10	18,33	40,98	295,65	0,89	0,15	0,05	103,76	0,00016	11,45	10,30	13,53	0,76
40	8,47	-2,36	19,53	41,13	294,60	0,90	0,16	0,05	97,09	0,00016	11,43	10,31	13,64	0,76
45	9,75	-1,98	19,25	41,86	295,60	0,92	0,16	0,05	99,06	0,00016	11,80	10,61	13,96	0,76
50	9,01	-2,30	20,07	41,49	294,42	0,89	0,17	0,05	94,53	0,00016	11,19	10,09	13,46	0,75
55	7,98	-2,42	20,99	41,48	293,49	0,87	0,18	0,05	90,11	0,00016	10,73	9,69	13,12	0,74
60	10,84	-0,22	21,33	42,43	294,11	0,85	0,18	0,05	89,13	0,00016	10,36	9,33	12,81	0,73
65	10,09	0,34	20,43	43,22	295,79	0,90	0,17	0,05	93,82	0,00016	11,32	10,14	13,61	0,75
70	11,49	1,37	21,97	43,66	294,68	0,88	0,18	0,05	87,01	0,00016	10,76	9,66	13,24	0,73
75	10,96	0,40	22,39	43,97	294,58	0,83	0,19	0,05	85,45	0,00016	9,90	8,86	12,47	0,71
80	15,70	5,31	23,96	43,88	292,92	0,86	0,20	0,05	79,40	0,00016	10,14	9,13	12,87	0,71
85	13,92	3,89	24,48	45,51	294,03	0,87	0,20	0,05	78,39	0,00016	10,25	9,17	13,00	0,71
90	15,45	6,82	25,44	47,01	294,57	0,86	0,21	0,05	75,92	0,00016	9,96	8,88	12,82	0,69

95	18,93	10,81	27,08	48,80	294,72	0,84	0,22	0,05	71,76	0,00016	9,41	8,35	12,46	0,67
100	17,95	14,11	29,48	50,60	294,13	0,84	0,24	0,05	66,17	0,00015	9,08	8,03	12,38	0,65
105	20,91	17,49	30,64	52,38	294,74	0,83	0,25	0,05	64,13	0,00015	8,77	7,71	12,20	0,63
110	25,00	21,62	32,74	54,34	294,60	0,83	0,26	0,05	60,37	0,00015	8,49	7,43	12,13	0,61
115	26,32	22,46	34,36	56,05	294,68	0,82	0,27	0,05	57,82	0,00015	8,12	7,07	11,93	0,59
120	28,29	24,68	36,22	57,83	294,61	0,83	0,29	0,05	55,14	0,00015	8,04	6,97	12,02	0,58
Rata-rata	12,13	2,87	22,19	43,07	293,88	0,87	0,18	0,05	94,01	0,00016	10,65	9,59	13,16	0,73

Percobaan 4 Modul Termoelekterik Dengan PCM 2 L

Waktu (Menit)	Tu (°C)	Tpcm (°C)	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (K)	I (A)	Rm (Ohm)	Sm (V/K)	Km (W/K)	Z (1/K)	Qh (W)	Qc (W)	Qte (W)	COP
0	9,89	-15,21	13,16	35,55	295,38	0,94	0,11	0,05	141,88	0,00017	13,01	11,82	14,50	0,82
5	10,09	-11,86	9,06	32,16	296,10	0,95	0,08	0,05	204,26	0,00017	13,79	12,56	14,82	0,85
10	10,89	-9,55	9,45	33,07	296,61	0,95	0,08	0,05	196,79	0,00017	13,73	12,48	14,80	0,84
15	15,07	-6,90	10,66	34,35	296,70	0,90	0,09	0,05	175,35	0,00017	12,74	11,56	13,97	0,83
20	13,34	-7,26	12,12	35,69	296,57	0,93	0,10	0,05	154,77	0,00017	13,01	11,78	14,38	0,82
25	14,42	-6,72	12,72	36,15	296,43	0,94	0,11	0,05	147,60	0,00017	13,08	11,84	14,52	0,82
30	13,61	-5,60	14,03	37,06	296,03	0,93	0,12	0,05	134,07	0,00017	12,72	11,52	14,31	0,80
35	14,52	-7,69	13,56	37,04	296,48	0,93	0,11	0,05	138,87	0,00017	12,79	11,57	14,33	0,81
40	12,17	-5,34	13,68	37,28	296,60	0,92	0,12	0,05	137,84	0,00017	12,62	11,40	14,17	0,80
45	11,67	-3,90	14,19	37,47	296,28	0,91	0,12	0,05	132,87	0,00017	12,38	11,19	13,99	0,80
50	16,33	-4,07	14,97	38,08	296,11	0,90	0,13	0,05	126,09	0,00017	12,10	10,93	13,81	0,79
55	13,42	-3,83	14,65	38,35	296,69	0,91	0,12	0,05	129,18	0,00017	12,31	11,10	13,98	0,79
60	17,43	-1,87	15,61	38,67	296,06	0,90	0,13	0,05	121,12	0,00017	12,01	10,84	13,79	0,79
65	11,94	-1,55	16,05	39,09	296,04	0,92	0,13	0,05	117,97	0,00017	12,27	11,07	14,08	0,79
70	16,23	-1,62	15,86	39,98	297,12	0,90	0,13	0,05	120,15	0,00016	11,98	10,76	13,78	0,78
75	14,56	-2,19	16,18	39,49	296,30	0,92	0,14	0,05	117,24	0,00016	12,25	11,04	14,07	0,78
80	18,69	-2,83	16,95	40,04	296,09	0,90	0,14	0,05	112,04	0,00016	11,81	10,64	13,74	0,77
85	14,44	-1,28	15,94	40,26	297,32	0,89	0,13	0,05	119,73	0,00016	11,81	10,60	13,62	0,78
90	15,80	-1,78	17,20	40,33	296,13	0,89	0,14	0,05	110,54	0,00016	11,62	10,45	13,57	0,77
95	16,96	-2,49	16,83	40,45	296,62	0,88	0,14	0,05	113,22	0,00016	11,51	10,34	13,43	0,77

100	16,51	-2,23	17,74	41,17	296,43	0,88	0,15	0,05	107,58	0,00016	11,38	10,22	13,40	0,76
105	21,35	-1,40	18,58	40,78	295,20	0,88	0,16	0,05	102,17	0,00016	11,25	10,13	13,37	0,76
110	21,93	-1,01	18,22	42,29	297,07	0,88	0,15	0,05	105,32	0,00016	11,32	10,13	13,38	0,76
115	25,58	0,36	19,47	41,54	295,06	0,90	0,16	0,05	97,65	0,00016	11,44	10,30	13,64	0,76
120	25,95	-0,23	19,65	42,09	295,44	0,90	0,16	0,05	97,06	0,00016	11,42	10,26	13,63	0,75
Rata-rata	15,71	-4,32	15,06	38,34	296,27	0,91	0,13	0,05	130,45	0,00017	12,25	11,06	13,96	0,79

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Probolinggo, 04 Agustus 1994. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Terlahir dengan nama Yudha Agus Rahman Prasetyo dari pasangan suami istri, Agus Seno dan Elin Herminingsih. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Taruna Dra Zulaeha pada tahun 1999 hingga tahun 2001. Melanjutkan pendidikan ke SD Taruna Dra Zulaeha hingga lulus pada tahun 2007. Setelah lulus SD, penulis melanjutkan pendidikan ke SMP Taruna Dra Zulaeha dan lulus pada tahun 2010. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke SMA Taruna Dra Zulaeha hingga lulus tahun 2013. Setelah menyelesaikan pendidikan SMA, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada tahun keempat penulis mengambil fokus bidang keahlian *Marine Machinery and System* (MMS). Selama perkuliahan penulis aktif dalam bidang akademis dan non akademis. Dalam bidang akademis, penulis aktif sebagai Grader Pompa Sentrifugal Praktikum Mesin Fluida DTSP FTK – ITS tahun ajaran semester gasal 2016/2017. Dalam bidang non akademis, penulis aktif sebagai Staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan. FTK – ITS periode 2014-2015. Penulis juga pernah menjadi panitia kegiatan Marine Icon 2014 sub lomba “Dragon Boat Race”, Marine Icon 2015 sub lomba “Dragon Boat Race” dan Marine Icon 2016 sebagai Koordinator Acara.